الفحوصات اللاإتلافية للمواد الهندسية

مبادئ أساسية وتطبيق

الأستاذ الدكتور

محمد حمزة المعموري



www.darsafa.net

مؤسسة دار الصادق الثقافية

طبع . نشر . توزيع

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَى
عَالِمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ ﴾

صدق الله العظيم

الفحوصات اللاإتلافية

للمواد الهندسية

(مبادئ أساسية وتطبيق)

الفحوصات اللاإتلافية للمواد الهندسية

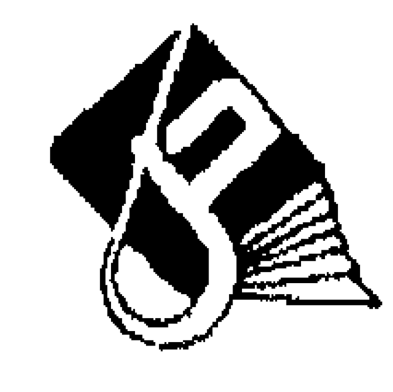
(مبادئ أساسية وتطبيق)

الأستاذ الدكتور

محمد حمزة المعموري

الطبعة الأولى

2015م - 1436هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان



دار صفاء للنشر والتوزيع

الفحوصات اللاإتلافية للمواد الهندسية: مبادئ أساسية وتطبيق

أ.د. محمد حمزة المعموري

الواصفات:

البصريات// المواد الهندسية// الهندسة

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2013/11/3961)

ردمك ISBN 978-9957-24-936-6

عمان ـ شارع الملك حسين

مجمع الفحيص التجاري ـ تلفاكس 4612190 6 962+

هاتف: 4611169 6 962+ ص. ب 922762 عمان ـ 11192 الأردن

DAR SAFA Publishing - Distributing
Telefax: +962 6 4612190- Tel: + 962 6 4611169
P.O.Box: 922762 Amman 11192- Jordan
E-mail:safa@darsafa1.net
E-mail:safa@darsafa.info
www.darsafa.net

الفهرس

الفصل الأول

الفحص البصري

الفصل الثاني

الفحص بالليزر

الفصل الثالث

الفحص بالأشعة السينية

الفصل الرابع

الفحـص بأشعة كاما

الفصل الخامس

الفحص بالموجات فوق الصوتية

الفصل السادس

الفحص بواسطة الميتالوغرافيا الكمية

المقدمة

يعتبر فحص المواد والمنتجات الركيزة الأساسية في نجاح أي صناعة وإزدهارها وقدرتها على المنافسة، حيث يعمل الفحص على إكتشاف العيوب في المنتجات قبل طرحها في الأسواق مما يقلل الخسائر ويقلل أيضاً كلف التصنيع والحصول على أعلى مستويات الجودة الصناعية، إذ إن نجاح أي صناعة اليوم مرهون بجودتها إضافة إلى قلة كلفتها.

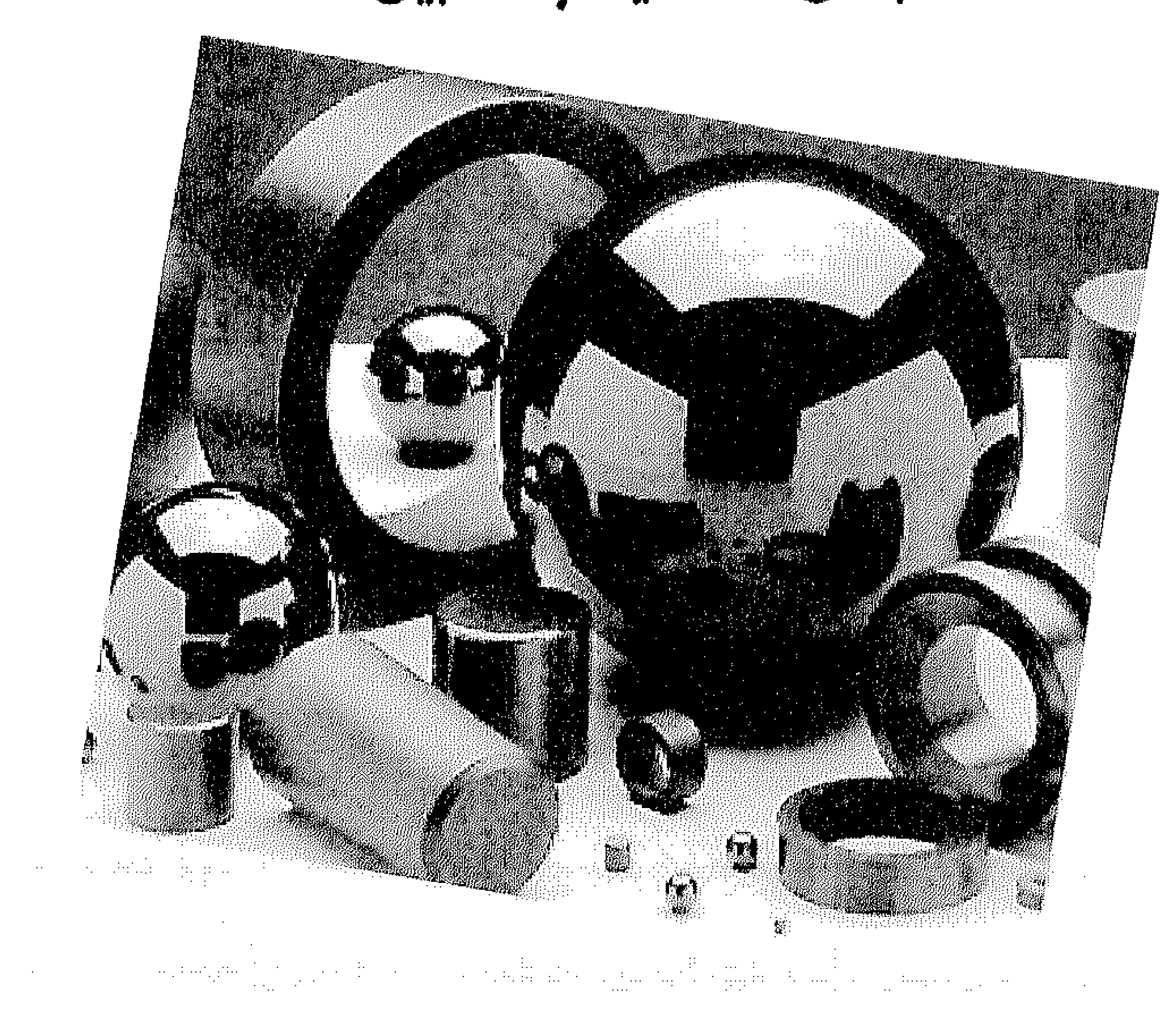
ولا يقتصر مفهوم الفحص على المنتجات فقط بل يتعداه إلى فحص المواد قبل تصنيعها لمعرفة مدى ملائمتها لجزء هندسي معين ومدى نجاح هذه المادة في تلبية الحاجة المتوخاة من إختيارها وقبل تصنيع المنتجات منها مما يقلل التكاليف الناتجة من فشل المنتج بعد تصنيعه وتجنب الخسارة.

ونظراً لقلة الكتب التي تتناول موضوع فحص المواد لذلك جاء هذا الكتاب ليلقي الضوء وبشكل مفصل من أسس علمية وتطبيقية في الفحوصات اللاإتلافية للمواد والذي من خلاله يستطيع طلاب كليات الهندسة بكافة فروعها وخصوصاً هندسة المواد والميكانيك وطلاب كليات العلوم التطبيقية إضافة إلى الصناعيين والتقنيين والشركات التابعة لوزارة الصناعة والمعادن في أقسام السيطرة النوعية والجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية الإستفادة منه في تطوير معلوماتهم ومهاراتهم في الفحص وكذلك إختيار أفضل وأدق طريقة للفحص تناسب المنتج، ونحن نأمل أن يقدم هذا الكتاب ولو شيء بسيط يخدم قارئه وسوف أكون ممتناً لكل من يقرأ الكتاب ويُبدي ملاحظاته حول المواضيع التي وردت فيه ومن الله التوفيق.

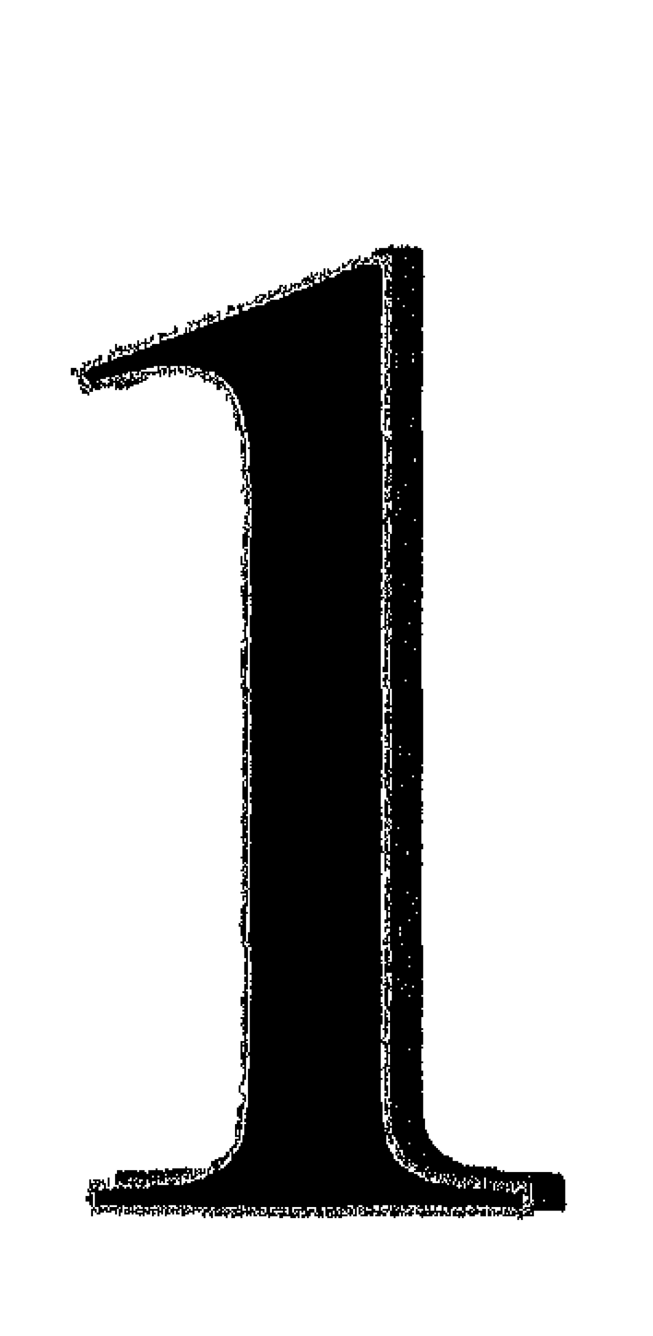
المؤلف

الفحوصات اللاإتلافية للمواد الهندسية

مبادئ أساسية وتطبيق



الفصل الأول



الفحص البصري

Optical Test

الفصل الأول

الفحص البصري Optical Test

1.1 المقدمة

يعتبر العالم الفيزيائي العراقي المسلم الحسن بن الهيثم المولود في مدينة البصرة في العام (965 م) والذي علق على أعمال أرسطو وجالينوس من أبرز علماء الرياضيات والباحثين في علم الضوء في كل العصور ، وترجع شهرته إلى كتابته في الضوء الذي ظل مرجعا أساسياً لعدة قرون وصار معروفاً عن كبلر (Kepler) في القرن السابع عشر وقد كان لكتابه العظيم كتاب الناظر أثر عظيم لتدرب العلماء المتأخرين في غرب أوربا. لقد أثار كتاب إبن الهيثم في الضوء الاهتمام بالفلك وحساب المثلثات في العصور المظلمة والعصور الوسطية وكانت بحوثه ركيزة هائلة لعلماء بارزين من أمثال ليونارد دافنيس وغاليلو ونيوتن. وتدل الجداول التي أعدها لزوايا السقوط والإنكسار المقابلة لها عند مرور شعاع الضوء من وسط إلى أخر على إنه هو الذي إكتشف قانون منسب الجيوب الذي عزي فيما بعد إلى سنيل (Snell) كما إنه حاول حل المعادلة من الدرجة الثالثة بدلالة القطوع.

وفسر عدد كثير من الظواهر الطبيعية الفيزيائية وإليه يرجع الفضل الأكبر في تعريف الطريقة العلمية التي صاغها بعلمية في بضع كلمات: (هي إتباع الحقيقة لا الميل مع الهوى). ولقد نجحت فيما بعد بالنهج التجريبي، لقد كانت سابقاً بعقله وعلمه أجيالاً من البشر ومآثره ومازالت تشهد له بالسيف لم تطمسها ألف سنة من الدهر. حتى أن أعتى المعاندين وأشد المتكبرين على العرب لفضلهم على العلم ومن ينقضون تاريخ العرب، ولم يستطيعوا إلا أن يقفوا بإجلال أمام

صورة الحسن بن الهيثم، وهي تحتل موقعاً متميزاً من بين صور مشاهير العلماء في أحد المصادر الأمريكية المهمة.

ونذكر أن لتفسير ظاهرة الضوء نظريات مرت بمخاضات عديدة أنجبت الأساس الذي انطلقت منه حبل نظريات الفيزياء الحديثة. لقد تعلق علم الضوء في الماضي على الصفات البديهية لأشعة الضوء وتصنيع الآلات البصرية اعتماداً على ما يسمى بالضوئيات الهندسية دون أن يتحققوا عن كنه الضوء. والآن ما هو الضوء؟ سؤال طرح نفسه في عصر نيوتن، وعلى الرغم من اهتمام نيوتن بالضوء إلا أن الطبيعة الداخلية للضوء ظلت محل جدل حتى مطلع القرن الحالي وظل إختلاف قائم لفترة طويلة حول ما إذا كان إشعاع الضوء هو تيار من جسيمات أو أمواج من نوع معين، وكان نيوتن من أعظم مؤيدي النظرية الجسيمية ونظراً لمكانته فأن الكثيرين كانوا يميلون لرأيه ولقد وضع النظرية الدقائقية للضوء التي بواسطتها تفسر ظواهر بصرية عددية جداً فمثلاً فسرت الألوان المختلفة للإشعاع بالهيئة المختلفة للدقائق المكونة له.

2.1 نظريات الضوء

هنالك عدد من النظريات العلمية التي تم وضعها من قبل مجموعة من العلماء والتي فسرت الكثير من ظواهر الضوء والتي يمكن توضيحها كالآتي :

1 - النظرية الموجية .

استطاع العالم الهولندي هيجنز في عام (1670) أن ينشأ نظريته العلمية التي فسر بها كثيراً من ظواهر الضوء باعتباره موجياً في طبيعته مثل التداخل والإنكسار وغير ذلك وقد كان لهذه النظرية مؤيديها أيضاً. وكنتيجة لبحوث فرنيل وفوكر اتضحت أفضلية النظرية الموجية للضوء بالنسبة للنظرية الدقائقية.

ولكن هناك نقص واحد كبير في النظرية الموجية فقد افترض فيها أن الشعاع الضوئي هو عبارة عن موجات ميكانيكية عرضية، وبالتالي يجب أن

تكون هناك مادة بين الشمس والأرض، وذلك الضوء ينتقل بحرية من الشمس إلى الأرض. لذا أنشأت فرضية عن الأثير الكوني الذي يملأ كل الفضاء بين الأجسام والجزيئات، وإذا تذكرنا أن الموجات العرضية ممكنة في الأجسام الصلبة ، ينبغي عندئذ التسليم بأنه يجب أن تكون للأثير خواص مرونة الجسم الصلب. ولكن وجود الأثير لا ينعكس بأية صورة على حركة الأرض في الفضاء الكوني. وهذا يعني أن الأثير لا يظهر نفسه بأي شيء سوى أن الضوء ينتشر فيه بالرغم من إنه يملك خواص الجسم الصلب وعليه وضعت هذه الخواص المتناقضة للأثير فرضية وجوده تحت الشك حتى استطاع ماكسويل أن يبعد هذه التناقض في النظرية الموجية للضوء عام 1865 .

2 - النظرية الكهرومغناطيسية .

فقد لفت ماكسويل النظر إلى سرعة انتشار الضوء في الفراغ ينطبق على سرعة الانتشار للموجات الكهرومغناطيسية فأقام على هذا الأساس فرضيته الطبيعة الكهرومغناطيسية للضوء التي تأكدت فيما بعد تجارب عديدة بموجب هذه النظرية، كل إشعاع ضوئي هو موجات كهرومغناطيسية ولكن ليست جميع الموجات الكهرومغناطيسية بتاتاً هي موجات ضوئية بل فقط تلك التي تتيسر عند الإنسان إحساساً بالإبصار. ولا تسبب الإشعاع الضوئي إلا الموجات التي يقع تردد ذبذباتها بين (4×10^{14} Hz) و (7.5×10^{14} Hz) وكل تردد في هذا المجال يناظره لون إشعاع خاص به. فمثلاً التردد (7.5×10^{14} Hz) يناظر اللون الأخضر. ويمكن دائماً إيجاد طول موجة الإشعاع في الفراغ من تردده بموجب الصيغة :

$$\nu = C/\lambda$$

حيث :

ν= تردد ذبذبات الإشعاع الكهرومغناطيسي .

λ= الطول الموجي .

C= سرعة الفوتون .

تبين الحسابات أن الإشعاع الضوئي في الفراغ أطول موجات من (400 nm) (اللون البنفسجي) إلى (760 nm) (اللون الأحمر). نلاحظ إنه عند عبور الإشعاع الضوئي من وسط إلى آخر يحفظ لونه لآنه يبقى تردد ثابت ، بينما يتغير طوله الموجي كنتيجة لتغير سرعة انتشار الضوء. اثبت ماكسويل بواسطة أبحاثه أن الإشعاع الضوئي (مثل سائر الموجات الكهرومغناطيسية) يجب أن يسلط ضغطاً على الأجسام ولقد فسر النظرية الكمية بشكل أوضح فيما بعد.

3 - **النظرية الكمية للضوء**.

وبقي الأمر حتى عام 1913 لم تستطيع النظرية الكهرومغناطيسية تفسير انبعاث الضوء من الذرات عند التسخين للمواد. وكذلك الطاقة الكهروضوئية. ولكن "بور" أعطى تفسيراً منطقياً صحيح لميكانيكية انبعاث الضوء، وكذلك أينشتاين أعطى تفسيراً حسناً للظاهرة الكهروضوئية بأن الضوء عبارة عن موجات أو كمات من الطاقة تسير بشكل موجة، فهو جزئياً يبدو كأمواج وجزئياً كجسيمات ولا يمكن تفسير الظاهر المتعلقة بإشعاع الضوء وامتصاصه إلا بواسطة التصور عن التركيب الكمي للإشعاع الضوئي، وكان هذا يعني أن لتفسير الظواهر الضوئية يتوجب وضع نظرية جديدة توحد بين الخواص الموجية والدقائقية للضوء فحسب نظرية الكم للضوء وتم وضعها في شكلها الأول في أعمال بلانك واينشتاين وبور وتقوم هذه النظرية في الوقت الحاضر لا تفسر الظواهر البصرية فحسب بل وتفسر مجموعة من الظواهر الأخرى في جميع فروع علم الفيزياء، فنكشف عن خواص جديدة للمادة والمجال، وتنبأت بالعديد من الظواهر الجديدة التي وجدت فيما بعد بطرق تجريبية ويمكن التعبير عن العلاقة بين الخواص الموجية والدقائقية للضوء في هذه النظرية:

$$W = h \times \nu$$

حيث :

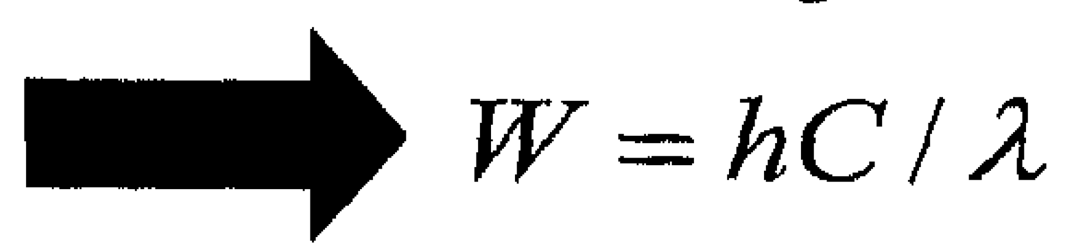
W= الطاقة .

h = ثابت بلانك معامل ثابت لجميع الموجات والكمات والذي يساوي (6.62×10^{-34} J.sec) .

وبما أن تردد ذبذبات الإشعاع الكهرومغناطيسي يساوي بالنسبة للموجات :

$$v = C/\lambda$$

لذلك يمكن التعبير عن طاقة الكم بدلالة الطول الموجي للكم ، إذ تتناسب طاقة الكم عكسياً مع طول الموجة وكما موضح :



$$W = hC/\lambda$$

أثبتت التجربة بأنه مادام الفوتون موجوداً فهو يتحرك بسرعة الضوء (C) ولا يمكن تحت أي ظروف كانت أن يقلل من سرعة حركته أو يتوقف، وعند التقائه بالمادة يمكن أن يمتصه جسم المادة، فينعدم عندئذ الفوتون وتنتقل طاقته كلياً إلى الجسم الذي امتصه وليس للفوتون كتله سكون، هذه الخاصية الرائعة للفوتون هى التى تميزه عن جسيمة المادة مثل البروتونات والالكترونات.

3.1 مصادر الضوء

إن جميع الأجسام التي تصدر جزيئاتها وذراتها إشعاعاً مرئياً تسمى مصادر الضوء، ويمكن إيراد مجموعة من الأمثلة المتنوعة لمصادر الضوء: مصباح متوهج، عود ثقاب مشتعل، أنابيب ضوئية غازية، ويمكن تقسيمها إلى ثلاث أنواع هي :

1- المصادر الحرارية.

التي تتم فيها الإضاءة على حساب إثارة الذرات والجزيئات بالحركة المشوشة للجسيمات في المادة في درجة حرارة عالية بصورة كافية تنتج إشعاع مثل هذه المصادر للضوء على حساب طاقتها الداخلية.

2- المصادر الاثارية للضوء.

التي تتم إنارة ذراتها وجزيئاتها لا بسبب حرارة عالية بل بسيل من الجسيمات المتطايرة للمادة، مثلاً الإلكترونات وبفعل الإشعاع الكهرومغناطيسي

خارجي أو تفاعل كيميائي، في هذه الحالة تنتج طاقة الإشعاع على حساب الطاقة الكهربائية أو الكيميائية أو الميكانيكية أي على حساب طاقة مصادر خارجية أخرى. إن إضاءة شاشة الأنبوبة الإلكترونية الإشعاعية وإضاءة الأنابيب الغازية الضوئية في الإعلانات وإضاءة الألوان وغيرها هي أمثلة على الإشعاع الاثاري .

3 - **المصادر التي تسببها ظاهرة فانيلوف (ضياء فانيلوف – تشيرنكوف).**

تظهر هذه الإضاءة انتشار حركة الإلكترونات في المادة بسرعة تفوق سرعة انتشار الضوء فيها ويمكن رصد هذه الطاهرة عندما يكون مصدر الإشعاع النشط النافذ محاطاً بوسط شفاف كثيف، مثلاً ماء ولا يتناقض هذا مع النظرية النسبية الخاصة، التي لا يمكن بموجبها لسرعة حركة الجسيمات أن تفوق سرعة الضوء في الفراغ .($C = 3 \times 10^8$ m/sec) وذلك لأن سرعة الضوء في الوسط $V_m = C/n$ (للماء $V = 2.25\times10^8$).

وبالتالي لا يمكن للإلكترون أن يتحرك بسرعة أكبر من V_m ولكنها لا تفوق C (سرعته في الفراغ) وفي هذه حالة الماء يكفي لهذا الإلكترون أن يكون له طاقة أكبر من 0.26 MeV.

إن حركة الجسيمات هذه مشابهة لحركة السفينة بسرعة تفوق سرعة انتشار الموجات في الماء، فتكون عند ذلك خلف السفينة موجات متباعدة ونرصد ظاهرة مماثلة لطائرة تسير فوق سرعة الصوت كما مر بنا.

وعند انطلاق جسم مشحون في وسط بسرعة أعلى من سرعة الضوء (لهذا الوسط) يقوم هذا الجسيم بتهيج ذرات الوسط التي تصدر بعد ذلك إشعاعاً متوافقاً (CD herent) ينتشر بسرعة V_m أصغر من سرعة الجسم V_p. فإذا قطع الجسم في زمن t مسافة $AB = V_{pt}$ تنتشر عندئذ الموجات الضوئية من النقطة A على شكل سطح كرة على مسافة $AD = AC = V_{mt}$ وتقوم عندئذ جبهة

الموجات الضوئية الصادرة عن الذرات الواقعة على المستقيم AB بتوليد سطح مخروطي (بمولدين AD وBC) وبما أن ABC قائم لذا يكون:



$$Sin\phi = Vmt / Vpt = Vm / Vp$$

ومن هنا يتضح إنه كلما كانت سرعة الجسم أكبر كلما كانت الزاوية ($\emptyset$) أصغر وهكذا. يمكن استخدام ضياء فانيلوف لتحديد سرعة حركة الجسيمات السريعة، ويمكن رصد هذا الضياء في الماء المستخدم في المفاعل النووي.

4.1 ظاهرة الإثارة (Fluorescent)

إن أية مادة مسخنة إلى درجة حرارة عالية بدرجة كافية تبدأ بالإضاءة ويسمى إشعاع المادة هذا إشعاع درجة الحرارة وذلك لأن شدته وتكوين طيفه يتحددان بصورة رئيسية بدرجة حرارة الجسم المضيء، ولكن غالباً ما يلاحظ ضياء أجسام في درجة حرارة منخفضة بحيث أن إشعاع درجة الحرارة الخاص بها لا يصدر أشعة ضوء مرئي، ويظهر هذا الضياء دائماً على حساب طاقة ما يمتصه الجسم ولا تؤدي إلى تسخينه فإذا كانت هناك بين لحظة امتصاص الجسم للطاقة وإفرازه لها في صورة إشعاع، يظهر بصورة مستقلة عن إشعاع درجة الحرارة فترة زمنية يمكن قياسها بالتجربة، يسمى عندئذ هذا الإشعاع إشعاعاً إنارياً (نتيجة الإثارة أو الفلورة) ويسمى الضياء الناتج منه (إنارة).

وعند امتصاص طاقة ما تتحول جسيمات المادة الانارية (جزيئات وذرات وأيونات) إلى الحالة المتهيجة التي تستطيع أن تبقى فيها لفترة زمنية محددة (بحسب نوع المادة من 10^{-9} s وحتى بضع ساعات) وعند عودتها إلى الحالة الطبيعية تصدر إشعاعاً إنارياً ويتم التمييز بين أنواع الإنارة بحسب طرية التهيج، يسمى ضياء الغاز المخلخل عند مرور تيار كهربائي خلاله (إنارة كهربائية) وتلاحظ الإنارة الكهربائية كذلك في أشباه الموصلات وتستخدم في الدايودات

الضوئية وعند مرور تيار مباشر خلال المنطقة الانتقالية P-n للدايود الضوئي تجري إعادة ترتيب الإلكترونات والفجوات مع إصدار كمات الإشعاع.

ويجري في هذه الحالة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية أي تجري عملية معاكسة للظاهرة الضوئية الداخلية. والدايودات الضوئية السليكونية هي مصدر إشعاع تحت الأحمر، والدايودات الضوئية من كاربيدات السليكون (SiC) وفوسفات الكالسيوم تشع ضوءاً مرئياً. والإنارة التي تظهر كنتيجة لامتصاص الجسم لإشعاع ضوئي تسمى (إنارة ضوئية). وبصورة عامة يلاحظ في الإنارة الضوئية للمواد الصلبة والسوائل إشعاع بموجات أطول مما للإشعاع الممتص، ويستخدم عادة للتهيج إشعاع فوق البنفسجية، بينما تظهر الإنارة الضوئية في القسم المرئي من الطيف وبذلك يحصل ما يشابه انتقال الإشعاع.

وقد توصل لخاصية الإنارة الضوئية هذه العالم الانجليزي ستوكس م1852 وتسمى الآن قاعدة (ستوكس). طيف الإنارة الضوئية مزاح في جهة الموجات الطويلة بالمقارنة بطيف الإشعاع الممتص.

تعطي نظرية الكم الخاصة بالإشعاع التفسير الآتي لهذه القاعدة: بعد امتصاص كم الإشعاع hV_0 والتحول إلى الحالة المتهيجة، يستطيع الجزيء (الذرة، الأيون) فقدان قسم من الطاقة المتحصلة وإعطائها إلى جزيئات أخرى أثناء الحركة الحرارية، بينما يتم إشعاع القسم الباقي في صورة كم hV، فإذا رمزنا للطاقة التي يفقدها الجزيء لـ A يكون عندئذ :



$$hV = hV_o - A$$

وتبعاً لذلك يكون تردد الإشعاع اصغر من تردد الإشعاع الممتص، ، بينما يكون طول موجته أكبر. لا يعتمد طيف الإنارة الضوئية تقريباً على الإشعاع الممتص وهو يمتص بالمادة المعنية. ويستخدم هذا في التحليل الإناري لتحديد تكوين المادة ونقاوتها.

إن حساسية طريقة التحليل هذه عالية جداً يمكن عادة إنارة المادة عندما يكون تركيزها (10^{-7}-10^{-9}Kg) والزمن الذي ترصد خلاله الإنارة الضوئية للمادة بعد إيقاف تعريضها للإشعاع يسمى (زمن ما بعد الضياء) وتقسم الإنارة الضوئية إلى فلورية وفسفورية بحسب زمن ما بعد الضياء، فإذا كان زمن ما بعد الضياء صغيراً إلى درجة أن، الإنارة الضوئية للمادة تزول عملياً في آن واحد مع إيقاف تعريضها للإشعاع فإنها تسمى (فلورية). أما إذا كان لزمن ما بعد الضياء مقدار محسوس (أكثر من يوم كامل) فأن الإنارة الضوئية تسمى (فسفورية)، وتلاحظ الإضاءة الفلورية عند العديد من السوائل والغازات بينما تلاحظ الإضاءة الفسفورية عند الأجسام الصلبة.

وأن المواد البلورية التي تفسفر بقوة ولمدة طويلة تسمى (بلورات فسفورية). من بينها أملاح مختلفة تحتوي على كمية ضئيلة جداً من شوائب ذرات مواد معينة تسمى منشطات فتفسفر كبريتات الزنك مثلاً بقوة بلون اخضرار إذا نشطت بذرات النحاس، والمركبات المضيئة التي يكون سبب فسفرتها وجود منشطات فيها تسمى غالباً (منيرة فسفورية) وتشاهد الإضاءة الفسفورية عند العديد من أنواع الزجاج التي تدخل في تركيبها بعض المواد المفسفرة مثل مركبات اليورانيوم والعناصر النادرة وغيرها، تستعمل البلورات الفسفورية للكشف عن أشعة رونتجن والأشعة فوق البنفسجية، وتقوم الشاشات المطلية بطبقة من البلورات الفسفورية عند امتصاصها لهذه الأشعة بإصدار ضوء مرئي، ويمكن استخدام الشاشات المفسفرة أيضاً للكشف عن الإشعاع الأحمر، ولقد اتضح أن الإشعاع الأحمر يقلل من زمن فسفورية المنيرات الفوسفورية ويؤدي إلى التعتيم السريع للشاشة المنيرة.

تستخدم الإنارة إستخداماً واسعاً في أنابيب الإشعاع الإلكتروني التي تطلى شاشاتها من الداخل بمنير فسفوري يضيء عند قذفه بالإلكترونات ويسمى هذا النوع (بالإنارة الكاثودية) (C.R O) البسيطة تستخدم بلورات فسفورية حأوية

على خليط كبريتات الزنك وكبريتات الكاديوم المنشطة بالفضة التي تعطي ضياءاً سماوياً. وفي (C.R.O) التلفزيونات الملونة توضع على الشاشة بالترتيب حبيبات الثلاثة أنواع من البلورات الفسفورية تضيء بلون أحمر وأخضر وأزرق وتهيج بثلاثة أنابيب مرسلة بمرشحات ضوئية أحمر وأخضر وأزرق على التناظر. تستعمل ظاهرة الإنارة استعمالاً واسعاً في مصادر الضوء. ففي الإنارة الكهربائية للغازات أو ألأبخرة المخلخلة وفي مصابيح الضوء النهاري ينبعث الإشعاع فوق البنفسجي عند الإنارة الكهربائية لأبخرة الزئبق. (وبالمناسبة، هذا هو سبب إستخدام المصابيح الزئبقة بجددران من الكوارتز كمصدر للضوء فوق البنفسجي) ويقوم حامل الضوء الذي تطلى به جدران مصباح الضوء النهاري من الداخل بالفسفرة بامتصاصه للإشعاع فوق البنفسجي فيصدر ضوءاً مرئياً، ويتم اختيار التركيب الكيميأوي لحامل الضوء بحيث يكون ضوء المصباح قريباً من الضوء النهاري. وهذه المصابيح أكثراقتصادية من مصابيح التوهج بـ 5-4 مرات.

لا تقوم الألوان الإنارية بعكس أشعة لون معين فحسب بل وتحول أشعة الألوان الأخرى الممتصة إلى هذا اللون لذا تشاهد وكإنها مضيئة. وتستخدم الألوان الإنارية لإحداث التأثيرات الضوئية في المسارح وتستعمل في الإعلانات ولتلوين المعلومات، وتطلى القاطرة بأشرطة ساطعة اللون وغير ذلك.

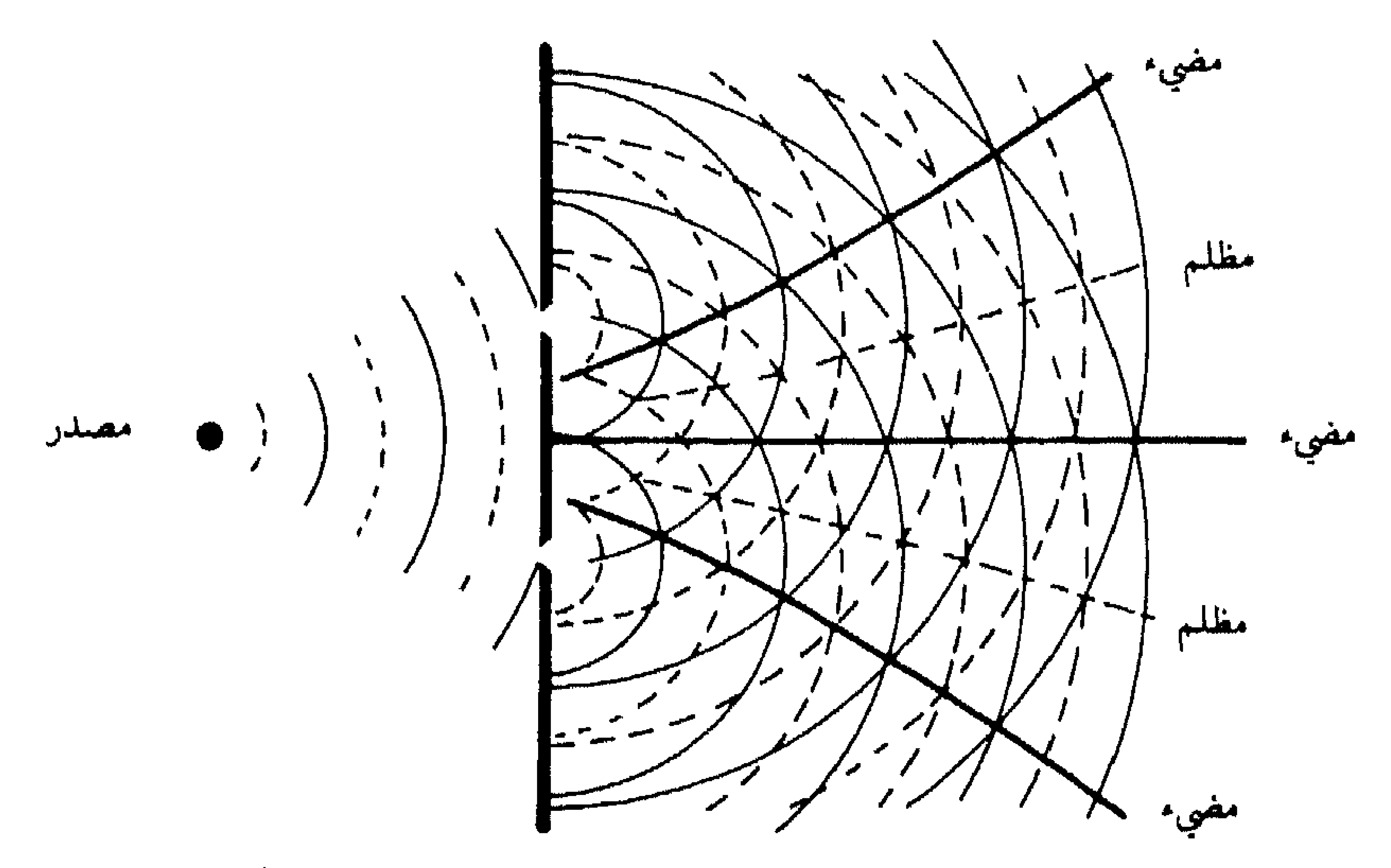
5.1 الحيود

تستطيع الموجات أن تنحني حول الأركان وتسمى هذه الظاهرة بالحيود، ويمكن توضيح هذه الحقيقة بصرياً بسهولة بإستخدام موجات الماء حيث تمر الموجات خلال الفتحة الموجودة في الحاجز ثم تنتشر في كل المنطقة الواقعة خلفه. ويشاهد مثل هذا الموقف في حالة الموجات الصوتية التي تستطيع أيضاً أن تنحني حول الأركان، وبالمثل فأن الموجات الكهرومغناطيسية يمكنها أن تنتشر في المنطقة الواقعة خلف الحاجز.

والمبدأ الأساسي لظاهرة **الحيود** هو حقيقة أن الموجات يمكن أن تتداخل كل منها مع الأخرى وأن الفرق بين الحيود والتداخل بسيط حيث إنه ليس هناك فرق فيزيأوي علمي يميز الحيود عن التداخل، ولكنه يمكننا أن نقول وبشكل مجازي أن التداخل يحدث مع جمع عدد صغير من الأمواج بينما يحصل الحيود من عدد كبير من هذه الأمواج ويرجع ذلك إلى أن التداخل يحدث بين حزم متعددة والناتجة عن الانعكاسات بينما يحدث الحيود غالباً في محزز الحيود.

ويحتوي شكل الحيود من شق منفرد على هدب مركزي مضيء جداً مع شدات ثانوية مضيئة ومعتمة معتدلة شدتها تدريجياً، أما شكل الحيود الناتج من شقين يحتوي على شدات تداخليه مضيئة ومعتمة متساوية البعد فيما بينها تقع ضمن الهدب المركزي لحيود الشق المنفرد وتكون الشدة في الهدب المركزي في شكل حيود الشقين أربع أمثالها لحيود الشق المنفرد. وتعتمد فسح حيود الشدات العليا والدنيا على عرض الشق (b)، بينما تعتمد الفسح بين الشدات للتداخل على كل من عرض الشق (b) والمسافة بين الشقين.

والموجات تستطيع أن تقوي أو تلاشي كل منها الأخرى ويعتمد ذلك على أطوارها التي تحقق التداخل البناء إذا كان فرق المسار بين الموجات هو λ و2λ و 3λ .... أما إذا كان المسار λ (1/2، 3/2، 5/2، 7/5 ......) يكون التداخل اتلافياً.



شكل (1): التداخل وظهور الخطوط المضيئة والمظلمة إعتماداً على النظرية الموجية للضوء

6.1 اللون وطول الموجة (Color and wave length)

يتكون ضوء النهار (أو الضوء الأبيض) من مجموعة من الإهتزازات ذات الترددات المختلفة، التي يمكن التفرقة بينها عن طريق اللون، ففي حالة الضوء المرئي يتراوح مدى الألوان المرئية في الطيف من تردد قدره (360×10^{13} cycle /sec) إلى (770×10^{13} cycle/sec) . ويمكن تعريف كل لون بتردد اهتزازاته، ولكن تستخدم طول الموجه المناظر في الفراغ (Vacuum) حيث تكون الاضطرابات الكهرومغناطيسية لها نفس السرعة وعليه فان.

سرعة الضوء في الفراغ C = (3×10^{10} cm/sec) (18600 mile/sec) .

بما ان :

λ = طول الموجة .

f = التردد .

وعليه :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^{10}}{f}$$

وهذا يعني أن طوال موجات الضوء المرئي تتراوح بين(3.9×10^{-5}cm) و (7.7×10^{-5}cm). وبدلالة الأنجستروم (Angstrom) (الأنجستروم = 10^{-8} cm) تتراوح بين (3900 و 7700) A^0 .

أما الضوء وحيد اللون (Monochromatic) فيتكون من طول موجة واحدة. وهذا بطبيعة الحال لا يمكن تحقيقه عملياً إلا بوجه التقريب. وقد يكن الضوء وحيد اللون وهذا مستقطباً في مستوى أو دائري أو ناقص. أما الضوء الأبيض أو متعدد الألوان (Polychromatic) فهو يتكون من خليط من الضوء تتباين في أطوال موجاتها. وتتناسب شدة الضوء (Intensity) مع مربع مقدار قيمة ذروة الاهتزاز . وعندما يمر الضوء من وسط إلى آخر مختلف الكثافة يحدث له تغير في سرعته. وتسمى النسبة بين هاتين السرعتين بمعامل الانكسار (Index of refraction) الذي يساوي :

$$\text{معامل الإنكسار} = \frac{\text{السرعة في الوسط الأول}}{\text{السرعة في الوسط الثاني}}$$

يتكون الضوء من مجموعة من الموجات كما في شكل (3) لكل واحدة منها الشكل الرياضي التالي :

$$S = a\cos\frac{2\pi}{\lambda}(z - vt + e)$$

حيث :

S = قيمة إزاحة المتجه.

Z = المسافة في إتجاه شعاع الضوء مقاسه من نقطة مقارنة.

V = سرعة الإنتشار

a = قيمة ذروة الإهتزازات

t = الزمن

e = ثابت

λ= طول الموجة .

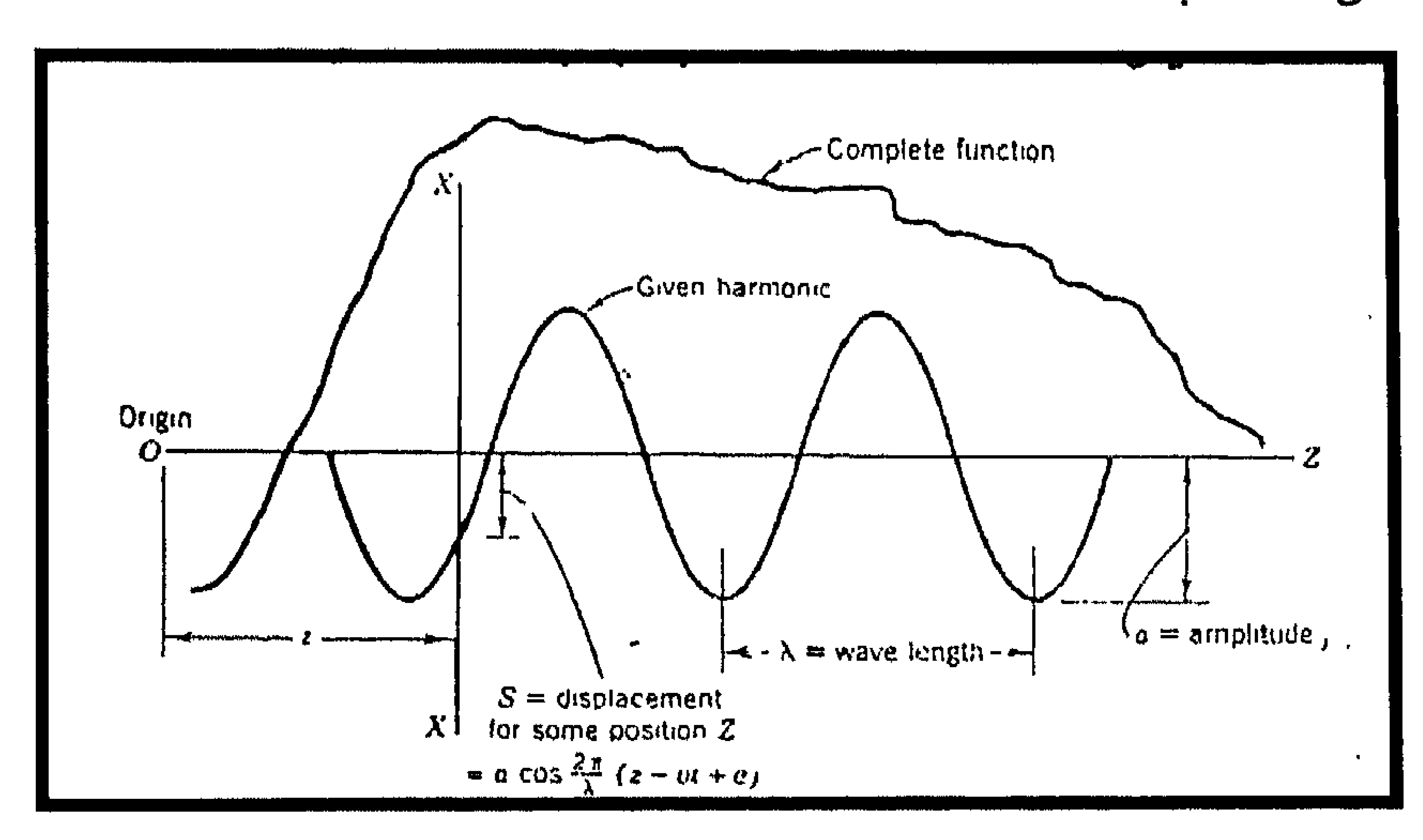
أما مجموعة الموجات المكونة للضوء فتأخذ الشكل الرياضي التالي :

$$S = \sum_{i=1}^{i=\infty} s_i \cos \frac{2\pi}{\lambda_i}(z - v_i t + e_i)$$

أما في حالة الضوء وحيد اللون وفي الحالة الخاصة التي يكون فيها قيمة z=e = صفر تأخذ المعادلة السابقة الشكل التالي:

$$S = a\cos\frac{2\pi v}{\lambda}t = a\cos(2\pi f)t = a\cos pt$$

وهذا يعني أن مقدار الإزاحة المعبر به بمتجه الضوء يتغير توافقياً (Harmonically) بالنسبة للزمن وأن الضوء له لون يعتمد على تردده كما يتضح من عامل التناسب P.



شكل(3) : التمثيل الرياضي لموجات الضوء

7.1 طول ألواح الموجة (Wave plates length)

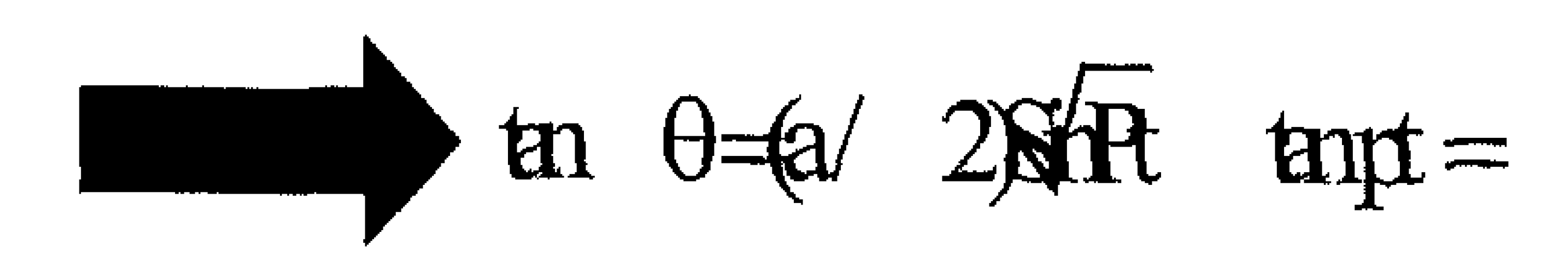
تمتلك بعض الألواح المصنوعة من مواد بلورية – مثل الميكا – خاصية تحليل الضوء الساقط عليها في إتجاه عمودي إلى محللتين ومن ثم نقله في مستويين متعامدين. وهذه الخاصية تسمى خاصية الإنكسار المزدوج. وفي نفس الوقت تنتقل تلك المحللتين بسرعين مختلفتين نتيجة إختلاف الخواص البصرية في مستوى الانتقال هذين. وعليه فإنه عندما تخرج هاتين المحللتين من اللوح فلسوف يكون إختلاف طوري (Difference in phase) بين موجتهما متناسبا مع سمك اللوح المعرض للضوء. فمثلاً إذا كان لطول موجة ما من الضوء إزاحة نسبية قدرها ربع موجة شكل (4) سمي اللوح بلوح ربع موجه ($\lambda/4$) (Quarter wave plate). ويعمل زحزحة طور(Phase shift) قدرها $\lambda/4$ فان لوح رعب موجة سوف يحول ضوء مستقطب في مستوى إلى ضوء مستقطب دائري إذا كان مستوي الذبذبة الأصلي يميل بزاوية قدرها ($-45°$) على مستوى الإنتقال لبلورة المايكا (إنظر الشكل (b:4)) فإنه يتحلل إلى محللتين متساويتين كما في الشكل (c:4) اللتان تنتقلان خلال سمك (h) بسرعتين مختلفتين . فإذا كان سمك اللوح مناسب فان الموجات الخارجة يكون لها إختلاف طوري قدره $\lambda/4$ ولها مقدار ذروة (Amplitude) متساو في مستويين متعامدين كما في شكل (a:4).

ويمكن تمثيل هاتين الموجتين بواسطة متجه كما في شكل (d:4)الذي يمكن جمعها ليكونا متجه محصلة (Resultant vector) قدره :

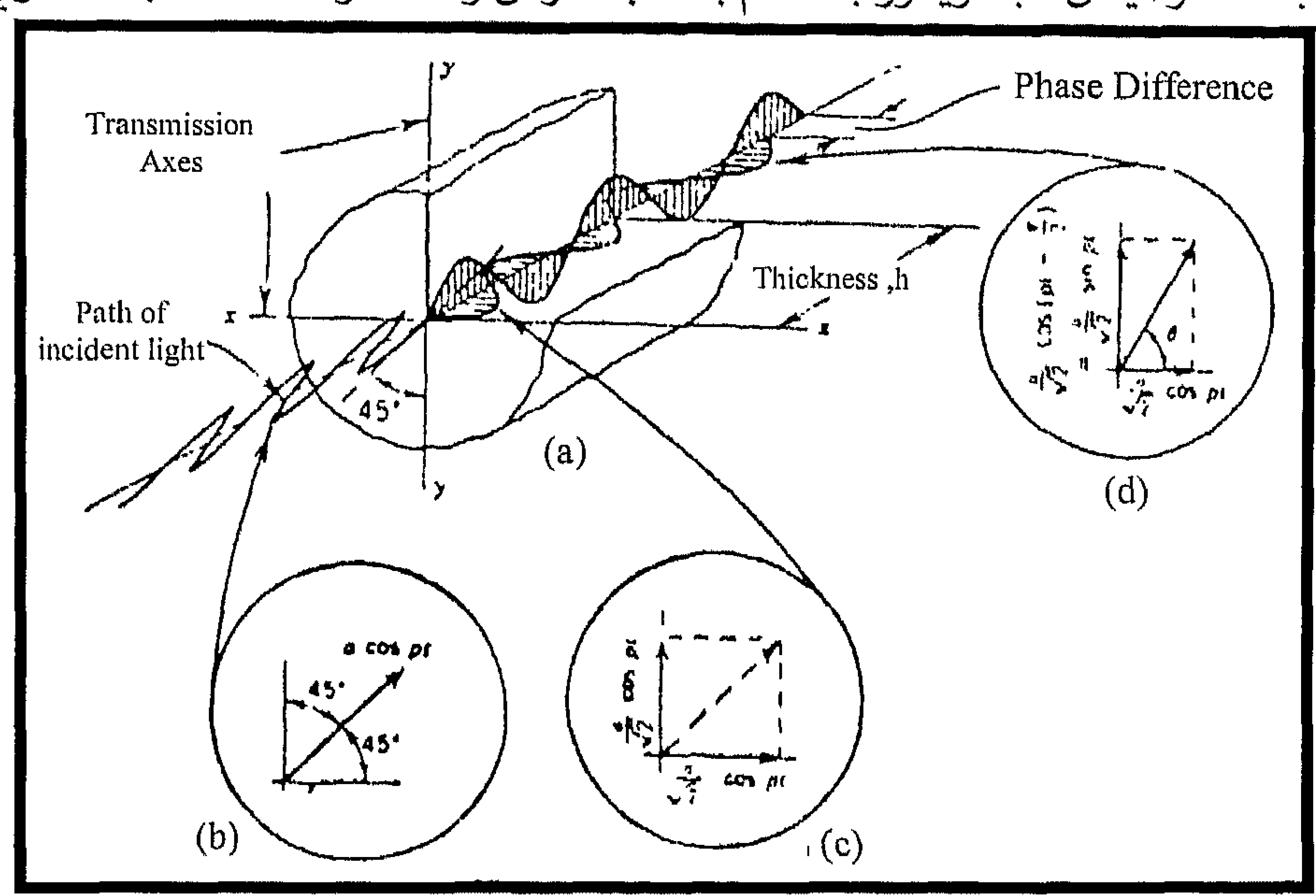
$$\Rightarrow \text{Resultant} = \sqrt{\left(\frac{a}{\sqrt{2}}\sin pt\right)^2 + \left(\frac{a}{\sqrt{2}}\cos pt\right)^2}$$

$$= \frac{a}{\sqrt{2}} = \text{متجه محصلة}$$

ويميل بزاوية :



ويتضح من المعادلتين السابقتين أن الزاوية θ تتناسب مع الزمن وأن مقدار متجه الضوء يظل ثابتاً ويدور بانتظام بالنسبة للزمن وهذا هو الاستقطاب الدائري.



شكل(4) : ماذا يحدث في لوح ربع موجة

وفي شكل (4) يتسبب الإختلاف في الخواص البصرية لمستوى الانتقال في جعل أحد المحللتين تنتقل بسرعة أكبر من الأخرى عاملاً إختلاف طوري، وتناسب التأخير النسبي (retardation (Relative مع سمك اللوح h ويساوي $\frac{1}{4}\lambda$ سمك معينة ولطول موجة معينة λ.

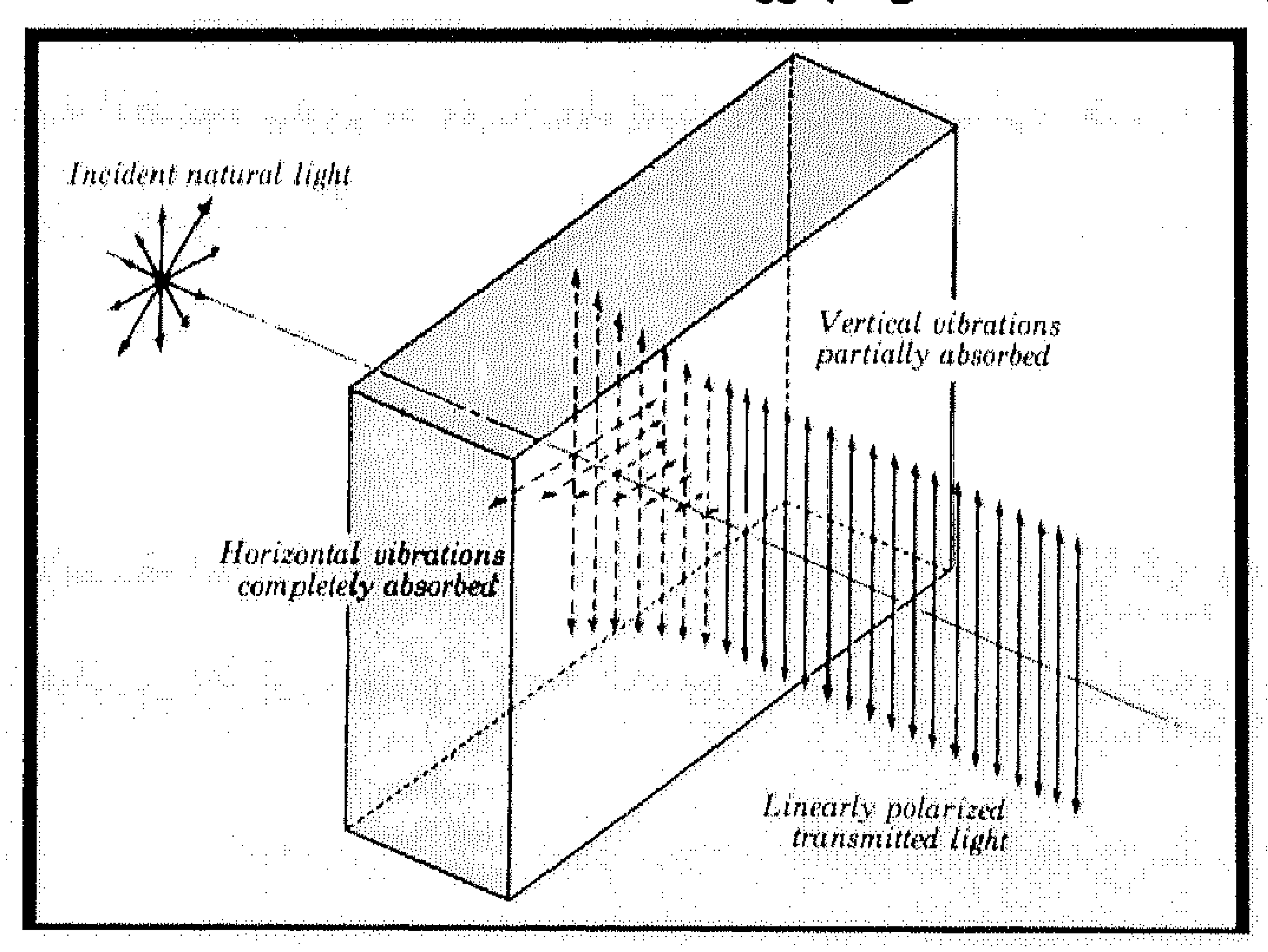
8.1 الاستقطاب والمرونة الضوئية

إذا سقط شعاع ضوئي طبيعي (غير مستقطب) على بلورة الفورمالين تتميز هذه البلورة بأن ترتيب الذرات داخلها يكون منتظم ويوجد بداخلها محور معين

يعمل كاشف بحيث يسمح لمركبات الضوء الساقط على البلورة والموازية لهذا المحور فقط بالنفوذ ويمنع بقية المركبات فإذا هذه البلورة تدريجياً لا يمكن ملاحظة أي تغيير ملحوظ في شدة الضوء النافذ خلال البلورة.

إن مركبات المجالات الكهرومغناطيسية للموجات الضوئية الطبيعية والتي هي موجات كهرومغناطيسية تتذبذب في كافة الإتجاهات وبشكل عشوائي فيقال أن الضوء غير مستقطب ويعزى سبب كون الضوء غير مستقطب إلى أن الضوء يصدر من عدد كبير من الذرات كل مجموعة منها تهتز في إتجاه مغاير وحتى لو أمكن عزل شعاع ضوئي واحد فإنه سيكون غير مستقطب إلا إذا كان أحادي اللون (أحادي الموجة) تماماً إذاً في هذه الحالة سيظهر هذا الضوء مفضلاً لإتجاه معين للإهتزاز.

الشكل (5) يوضح مصدر ضوئي يبعث ضوء مستقطب خلال بلورة مستقطبه فأن المركبات الموازية لمحور البلورة هي التي تنفذ فقط أي أن مركبات الضوء النافذ من خلال بلورة تتذبذب في إتجاه واحد فقط، لذلك يسمى هذا الضوء بالضوء المستقطب لأنه أخذ خاصية التذبذب بإتجاه واحد مقارنة مع إتجاه تذبذب الموجات الساقطة على البلورة.



شكل (5) : مصدر ضوئي يبعث ضوء مستقطب خلال بلورة مستقطبة

وبما إن الضوء هو إضطراب كهرومغناطيسي مكون من موجات مستعرضة تنتشر في خطوط مستقيمة تسمى الأشعة، إذاً يوجد تأثيرين مصاحبين للضوء أحدهما مغناطيسي والآخر كهربائي موجودين في نفس الوقت في مستويات متعامدة ويكون خط تقاطعهما موازياً لشعاع الضوء ويمكن تمثيل كلاً من الظاهرتين أو التأثيرين المغناطيسية والكهربائية بواسطة متجه (Vector) وفي وقت ما وفي مكان ما لأن كلا من الظاهرتين السابقتين أصلهما موجات مستعرضة ، لو إنه يعتبر المتجه الكهربائى هو المتجه الضوئي.

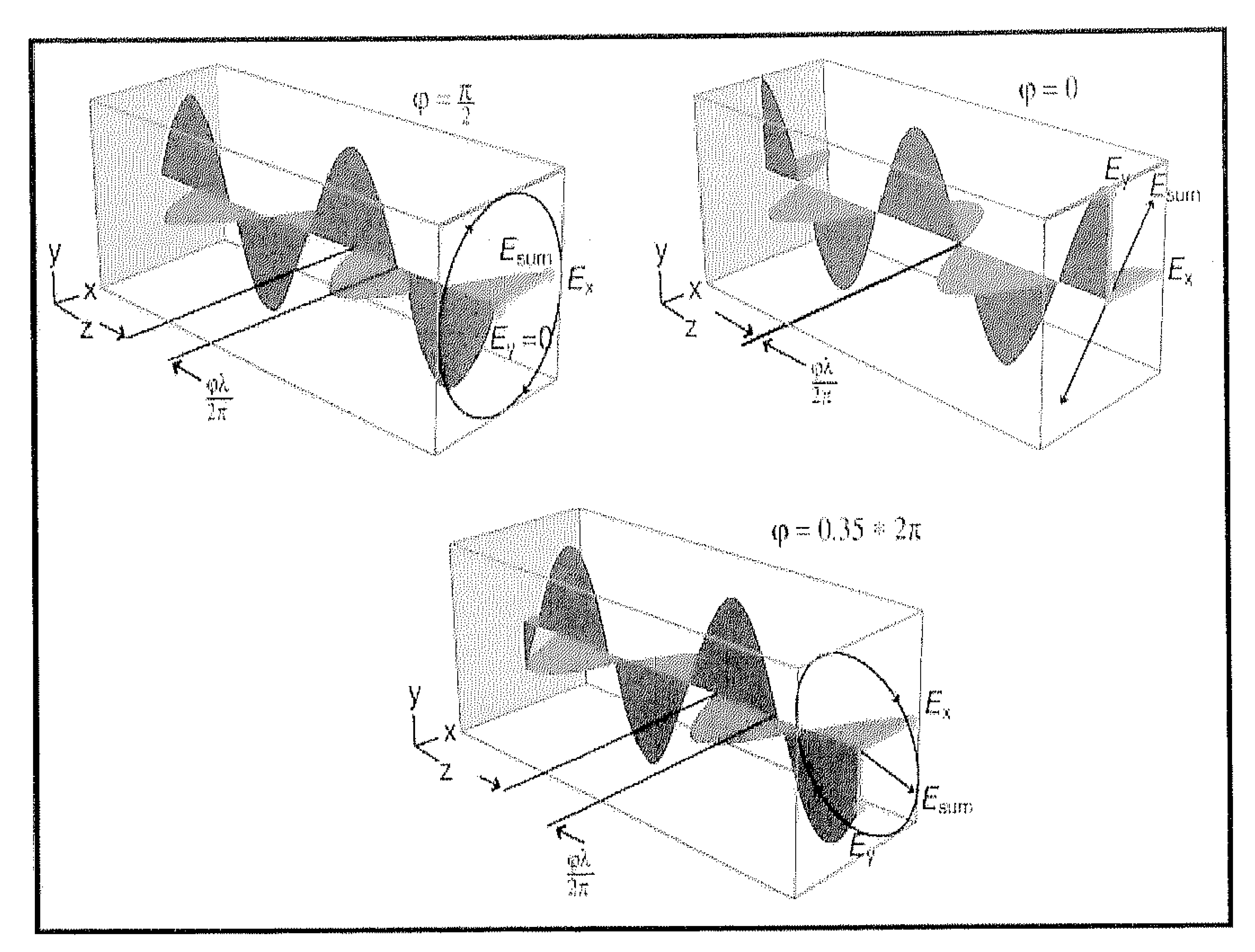
9.1 أنواع الإستقطاب

هنالك ثلاثة أنواع من الإستقطاب موضحة في الشكل (6) هي :

1 - **الإستقطاب المستوي (Plane Polarization)** : يسمى الضوء مستقطب في مستوي اذا كان متجه الضوء محصور في مستوي واحد ويسمى المستوي الذي يحوي متجه الضوء بمستوي الذبذبات . أما المستوي العمودي عليه فهو مستوي الاستقطاب.

2 - **الإستقطاب الدائري (Circular Polarization)**: وهذا يعني إن متجه الضوء يدور حول خط إنتشاره وان مقداره يظل ثابتاً ويمكن تحليل الضوء ذو الاستقطاب الدائري إلى موجتين في إتجاهين متعامدين لكل منهما متجه الذروة.

3 - **الإستقطاب الإهليلجي (Elliptical Polarization)**: وهذا يشابه الاستقطاب الدائري إلا إن مقدار متجه الضوء يتغير دورياً خلال الدوران .



شكل (6) : تمثيل الأنواع المختلفة

10.1 إنتاج الضوء المستقطب

يمكن أن يمثل الضوء العادي ضوءاً مستقطباً بطرق عدة :

1 - الإنعكاس.

2 - الإنكسار.

3 - التشتت.

4 - الإمتصاص الإنتقائي.

5 - الإنكسار المزدوج .

سنتناول شرح مختصر للإمتصاص الإنتقائي والإنعكاس .

الإمتصاص الإنتقائي (Selective Absorption) .

يشاهد الاستقطاب بالامتصاص الانتقائي في بعض بلورات الفورمالين فعندما يسقط ضوء مستقطب على شريحة من الفورمالين المقطوعة وبحيث يوازي وجهها المحور البصري للبلورة ينقسم الضوء إلى مركبتين مستقطبتين خطياً، أحدهما وهي المركبة ذات الإهتزاز الأفقي تمتص بقوة بينما المركبة الأخرى تنفذ دون خسارة كبيرة ومن ثم يكون الضوء الخارج من البلورة مستقطباً خطياً.

$$T + R + A = 1$$

حيث :

T= النفاذية .

R= الإنعكاسية .

A= الإمتصاصية .

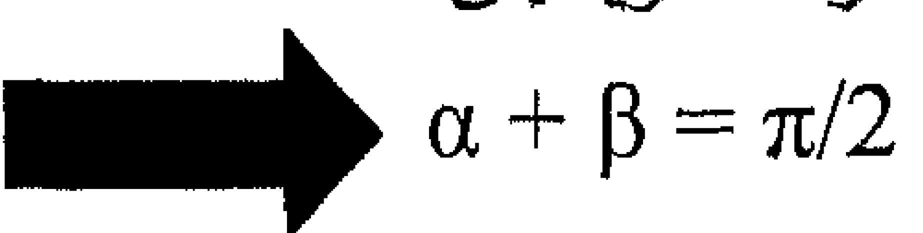
نوضح الآن لماذا يمكن أن يكون الفورمالين مستقطباً للضوء، حث يظهر تباين الخواص عند الفورمالين في كونه يمتص بشدة الإشعاع الذي له ذبذبات المتجه E في إتجاه معين بينما لا يمتص تقريباً الإشعاع الذي له ذبذبات في الإتجاه العمودي تسمى خاصية البلورات هذه ثنائية اللون (Dichromism) بإختبار صفيحة من الفورمالين بسمك تمتص فيه ذبذبات أحد الإتجاهين امتصاصاً كاملاً على شعاع كامل الاستقطاب فإذا كانت الصفيحة أقل سمكاً يبقى في الشارع ذبذبات في إتجاهين متعامدين ولكن تكون سعة أحداهما أكبر من سعة الآخر. يسمى هذا الإشعاع شعاعاً مستقطباً جزئياً.

لوحظ ثنائية اللون بصورة واضحة في البلورات الصغيرة جداً لكبريتات اليود وعند صنع المستقطبات تطلى صفيحة سيليلوزية بطبقة رقيقة من هذه البلورات موجهة بطريقة معينة وتطلى هذه الصفيحة من الخارج بزجاج وبذلك يتكون مستقطب بسطح كبير، وتسمى هذه المستقطبات بولارويدات.

الإستقطاب عند إنعكاس وإنكسار الضوء .

عند انعكاس وإنكسار الأشعة على الحد الفاصل بين وسطين شفافين تستقطب جزئياً الأشعة المنعكسة والمنكسرة. في الشكل (7:أ) رسم تخطيطي لشعاع نموذجي ساقط على الحد الفاصل بين الهواء والزجاج بزاوية في الشعاع المنعكس عدد أكبر من الذبذبات الموازية للسطح الفاصل (رسمت على شكل دوائر) بينما في الشعاع المنعكس عدد أكبر من الأشعة العمودية عليها (رسمت على شكل أشرطة) تعتمد درجة استقطاب هذه الأشعة على زاوية السقوط وعلى دليل الإنكسار (n).

أثبتت دراسة هذه الظواهر إنه في حالة المواد الشفافة لا يستقطب الشعاع المنعكس إلا جزئياً، بينما يوجد للشعاع المنعكس إتجاه واحد فيه كلياً (شكل7 : ب) ولقد اتضح إنه يحدث للشعاع المنعكس استقطاب كلي في الحالة عندما تكون الزاوية بين الشعاعين المنعكس والمنكسر مساوياً إلى :



$$\alpha + \beta = \pi/2$$

وبالتالي فأن :

$$\beta = \pi/2 - \alpha^{\pi/2}$$

نرمز لزاوية السقوط في هذه الحالة بـ IB فيما أن $B < \alpha = < I$

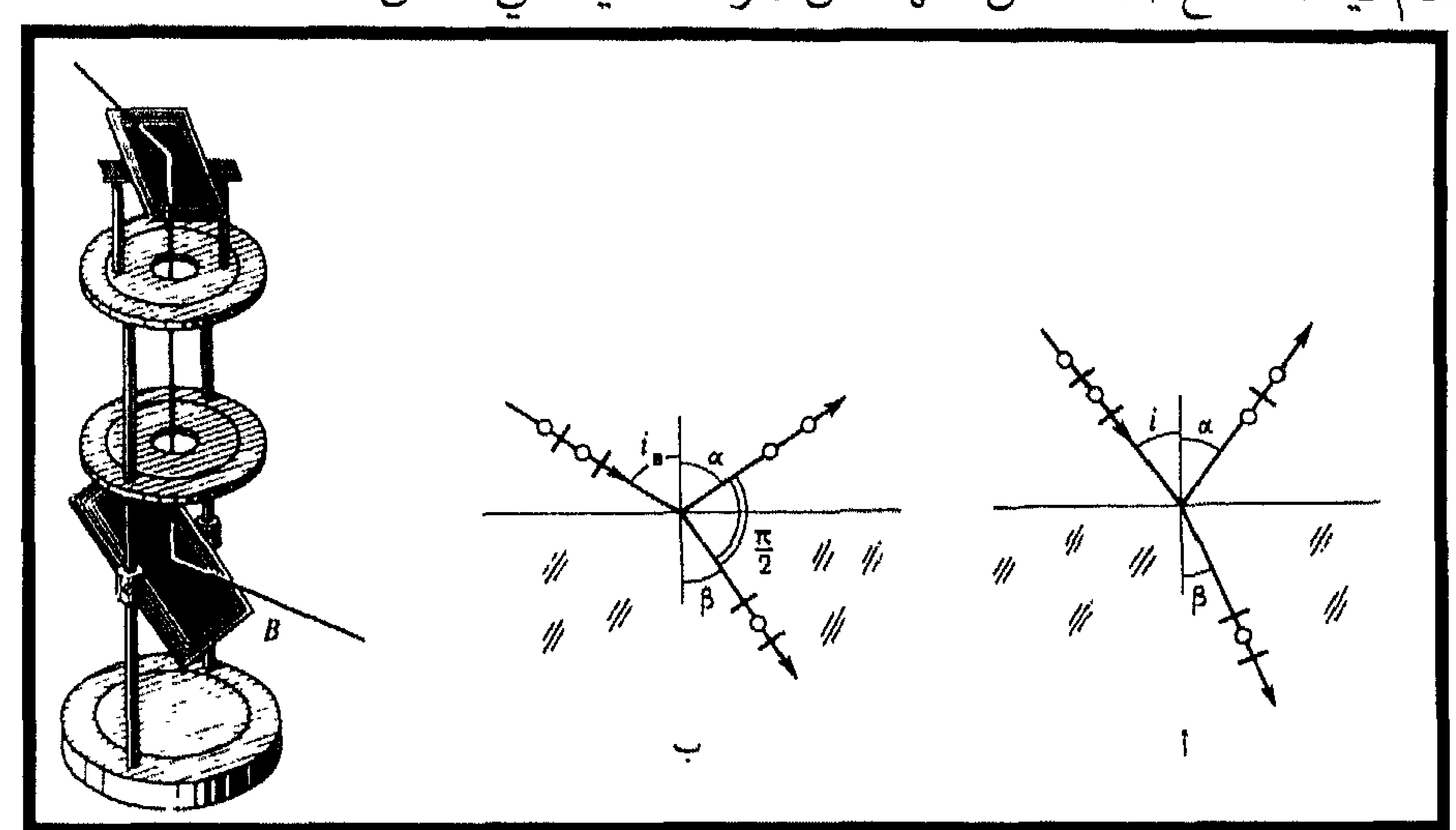
يكون لدينا من القانون التالي للإنكسار :

$$\sin IB / \sin(\pi/2 - IB) = \sin IB / \cos IB = n$$

نحصل من هذه العلاقة على قانون بروستر (Bruster) عند الاستقطاب الكلي للشعاع المنعكس يكون ظل زاوية السقوط IB مساوياً لدليل الإنكسار :

$$\tan IB = n$$

ملاحظة: إنه عندما تكون زاوية السقوط هي IB تكون درجة إستقطاب الشعاع المنعكس أكبر ما يمكن بالمقارنة بزاوية السقوط الأخرى. يمكن إستخدام خاصية إستقطاب الأشعة عند الإنعكاس في تركيب المستقطبات والمحللات. يتكون الجهاز من هذا النوع من مرآتين، أي صفيحتين زجاجيتين سطحهما السفلى مطلي، ويمتص الأشعة المنكسرة (شكل20:ج) إحدى المرآتين السفلى مثلاً هي مستقطب وتوضع حيث يستقطب كلياً الشعاع الضوئي المنعكس عن سطحه العلوي ويسقط على المرآة ثانية. بتدوير المرآة الثانية حول المحور الرأسي وحول المحور الأفقي يمكن إيجاد وضع هذه المرآة الذي ينعدم فيه الشعاع المنعكس عنها فأن المرآة الثانية هي محلل.



شكل (7) : إستقطاب الأشعة عند الإنعكاس

11.1 القوانين البصرية الأساسية للمرونة التصويرية

تمتلك أغلب المواد الشفافة مثل الزجاج والسيلولويد (Celluloid) والباكلايت (Bakelite) ، وكثيراً من الراتنجات الصناعية (Synthetic Resins) ، تأثيراً بصرياً مؤقتاً على شعاع من الضوء – مثل تأثير بلورة – إذا عرضت تلك المواد إلى إجهادات. فمثلاً يشابه الإنكسار المزدوج في تلك المواد –

ولو مؤقتاً – ما يحدث في لوح موجه (Wave plate) ، إلا أن التأخير النسبي (Relative relardation) بها يعتمد على طبيعة وشدة الإجهاد. وعند رفع الإجهاد يختفي الإنكسار المزدوج (Double refraction) . فإذا سقط ضوء عمودي على لوح مستوي معرض إلى إجهادات في حدود المرونة فان انتقال الضوء خلال ذلك يتبع القانونين الأساسيين التاليين :

1 - أن الضوء يستقطب في إتجاهات المحاور الأساسية للإجهادات الأساسية في هذين المستوين ويمكن كتابة المعادلة التالية بدلالة الإجهادات الأساسية.

$$\delta_1 = N_1 - N_o = Af_1 + Bf_2$$

$$\delta_2 = N_2 - N_o = Af_1 + Bf_2$$

حيث :

δ_1 = التغير في معامل الإنكسار في المستوى الأساسي رقم 1.

δ_2 = التغير في معامل الإنكسار في المستوى الأساسي رقم 2.

N_0 = معامل الإنكسار للمادة غير المجهدة.

N_1 = معامل الإنكسار في المستوى الأساسي رقم 1.

N_2 = معامل الإنكسار في المستوى الأساسي رقم 2.

B,A = ثوابت المرونة التصويرية للمادة.

وبطرح المعادلتين السابقتين لوجد أن الفرق بين معاملي الإنكسار على المستويين الأساسيين يساوي :

$$\delta_1 - \delta_2 = N_1 - N_2 = (A - B)(f_1 - f_2) = C(f_1 - f_2)$$

حيث :

C = ثابت الإجهاد البصري الفرقي (Differential stress optical constant)

ويمكن الربط بين الفرق بين الإجهادين الأساسيين وسرعة إنتقال الضوء من المعادلة السابقة ومن المعادلة (2 -73) ليكون :

$$\frac{v(v_2 - v_1)}{v_1 v_2} = C(f_1 - f_2)$$

حيث :

v_2, v_1 = سرعة الانتقال في المستويين الأساسيين للإجهاد .

V = سرعة الانتقال في الوسط المحيط.

وعليه فان الفرق بين سرعتي الانتقال $(v_1 - v_2)$ (وبالتالي الإختلاف الطوري (difference Phase)) يتناسب مباشرة مع الفرق بين الإجهادين الأساسيين (f_1, f_2).

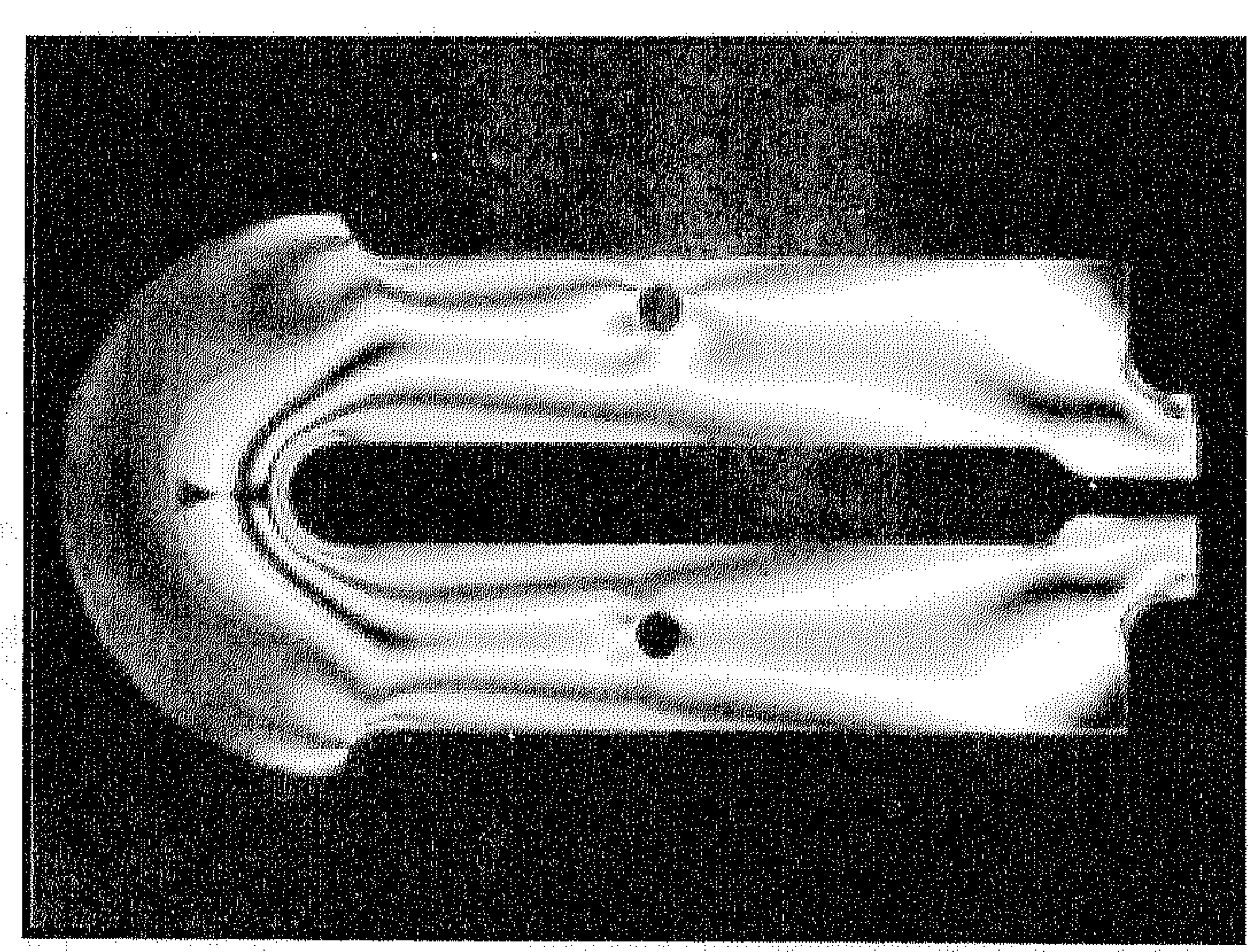
12.1 التحليل البصري للإجهادات (Optical Stress Analysis)

عندما يستخدم مستقطب Polarizer ومحلل Analyzer بصورة متقاطعة أي عندما يكون إتجاه النفاذية لكل منهما عمودي على ألآخر فإنه سوف لا يمر الضوء خلالهما. ولكن عندما يتم وضع بلورة ذات إنكسار مضاعف بينهما فأن الضوء المار خلال هذه البلورة يكون مستقطب بيضوياً وبذلك سوف يمر جزء من الضوء خلال المحلل ومضاءً عند إستخدام البلورة.

إن بعض المواد مثل الزجاج، السيلولويد، المواد البلاستيكية لا تمتلك خاصية الإنكسار المضاعف ولكنها تصبح كذلك عند تعرضها لإجهادات ميكانيكية. لذلك يمكن الحصول على معلومات عن الإجهادات عند دراسة نموذج موضوع بين قرصين مستقطبين، أن دراسة الإجهادات المعرضة لها مادة معينة ضرورية جداً فمثلاً يتعرض الزجاج الملون بصورة خاطئة إلى التشقق بعد فترة بسبب الإجهادات الداخلية، لذلك يجب إزالة جميع الإجهادات من الزجاج

المستخدم في البصريات قبل تنعيمه وصقله وهذا يتطلب فحص هذا النوع من الزجاج بين لوحين مستقطبين قبل عمليات التنعيم.

إن ظاهرة الإنكسار المضاعف بسبب الإجهادات أدت إلى بروز علم جديد هو علم المرونة الضوئية (Photo elasticity)، يمكن تحليل الإجهادات في المواد الهندسية غير الشفافة مثل العوارض، ألواح الرجل، أسنان التروس الخ .. بواسطة بناء نموذج شفاف لتلك المواد (مصنوع من مادة بلاستيكية) ومن ثم فحصه بين مستقطب ومحلل موضوعين بصورة متقاطعة. إن هذه الطريقة تساعد على تحليل توزيع الإجهادات المعقدة جداً مثل الإجهادات حول ثقب أو في سن الترس التي لا يمكن تحليلها رياضياً. يوضح الشكل (8) صورة لنموذج فرن ضوئياً معرض للإجهادات.



شكل (8) : التحليل البصري للإجهادات

إن السوائل بصورة عامة لا تمتاز بظاهرة الإنكسار المضاعف ولكنها تصبح كذلك عند توليد مجال كهربائي خلالها، وهذه الظاهرة تعرف بتأثير كير (Keer Effect)، إن إستخدام هذه الظاهرة ساعد على بناء صمام ضوئي (Light value) مسيطر عليها كهربائياً. يتكون الصمام الضوئي من خلية ذات

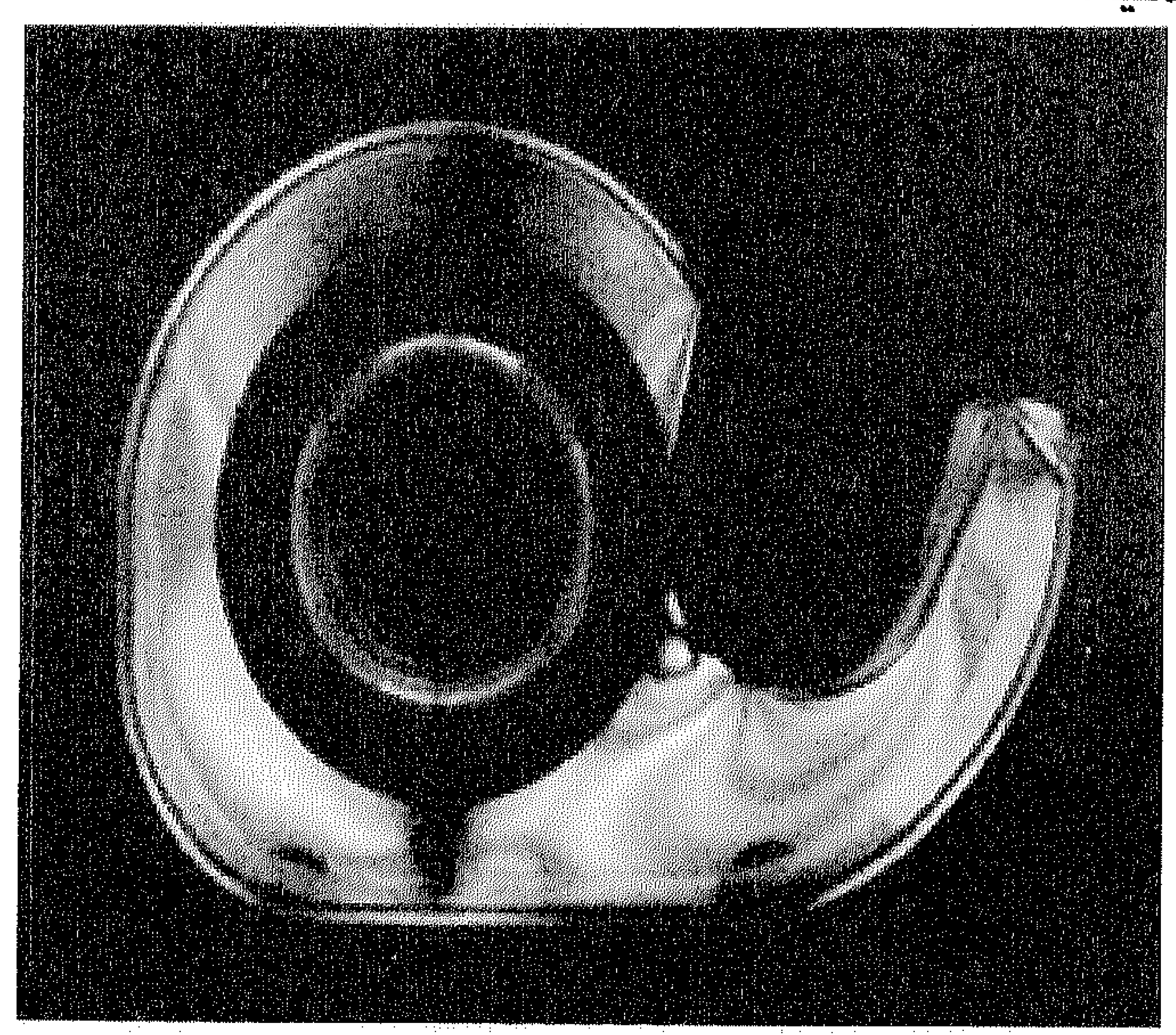
جدران شفافة تحتوي على سائل بين لوحين متوازيين، توضع الخلية بين قرصين مستقطبين متعامدين وهذه الخلية تسمح بمرور الضوء عند تسليط مجالاً كهربائياً بين اللوحين ويمنع مروره عند إزالة المجال الكهربائي.

تستخدم ظاهرة استقطاب الضوء في تحليل الإجهاد في القطع الإنشائية المستخدمة في البنائيات والمكائن ونتيجة لتطبيق هذه الظاهرة تطور فرع من الفيزياء التطبيقية عرف بالمرونة الضوئية (Photo elasticity). كما ذكرنا سابقاً عندما يتعرض قطعة لدائنية لإجهادات معينة تصبح مزدوجة الإنكسار (Biretringent) بسبب تباين الخواص (Anisotropy) الناتج من الانفعالات. لذلك عندما يتعرض نموذج من مادة لدائنية إلى نفس الإجهادات التي تتعرض لها القطعة الإنشائية فأن هذا النموذج سوف يسلك ضوئياً نفس سلوك صفيحة مزدوجة الإنكسار غير متجانسة، إن عدم التجانس هذا جاء بسبب انتظام توزيع الانفعالات في اللدائن.

عندما يتم فحص قطعة لدائنية في ضوء مستقطب نحصل على مخطط كما في (إنظر الشكل (9)) حيث يمكن استنتاج الانفعالات من ذلك المخطط بطرق خاصة. يستخدم الضوء المستقطب في عملية تحليل الإجهادات للأجزاء الميكانيكية بصورة عملية وخصوصاً في الأجزاء غير المنتظمة التي ليس من السهل إيجاد الإجهادات فيها بالطرق التحليلية المعروفة. والضوء المستقطب يمرر خلال مواد خاصة لها القابلية على تشتيت الضوء المار خلالها إلى مركبتين كل مركبة تكون بإتجاه أحد الإجهادين الرئيسيين في الجسم المحمل ومن تشتت الضوء تتكون أهداب مقدارها يتناسب مع مقدار الحمل المسلط على الجسم. وعادةً تكون الأهداب على شكل خطوط سوداء تظهر في الجسم المحمل.

وهذه الطريقة تعطي نتائج عملية جيدة وذلك لأن الأجسام المستخدمة في هذه الطريقة تكون مشابهة تماما للأجسام الفعلية. فمثلاً عندما نريد دراسة الإجهادات على عجلة مسننة، نقوم بتصنيع عجلة مسننة من هذه المواد التي لها

القابلية على تشتيت الضوء (والتي تسمى عادة بـ Birefrengent materials) ويتم وضع هذه العجلة المسننة في طريق الضوء المستقطب وتحمل العجلة وكأنها تعمل في الحالة العملية.

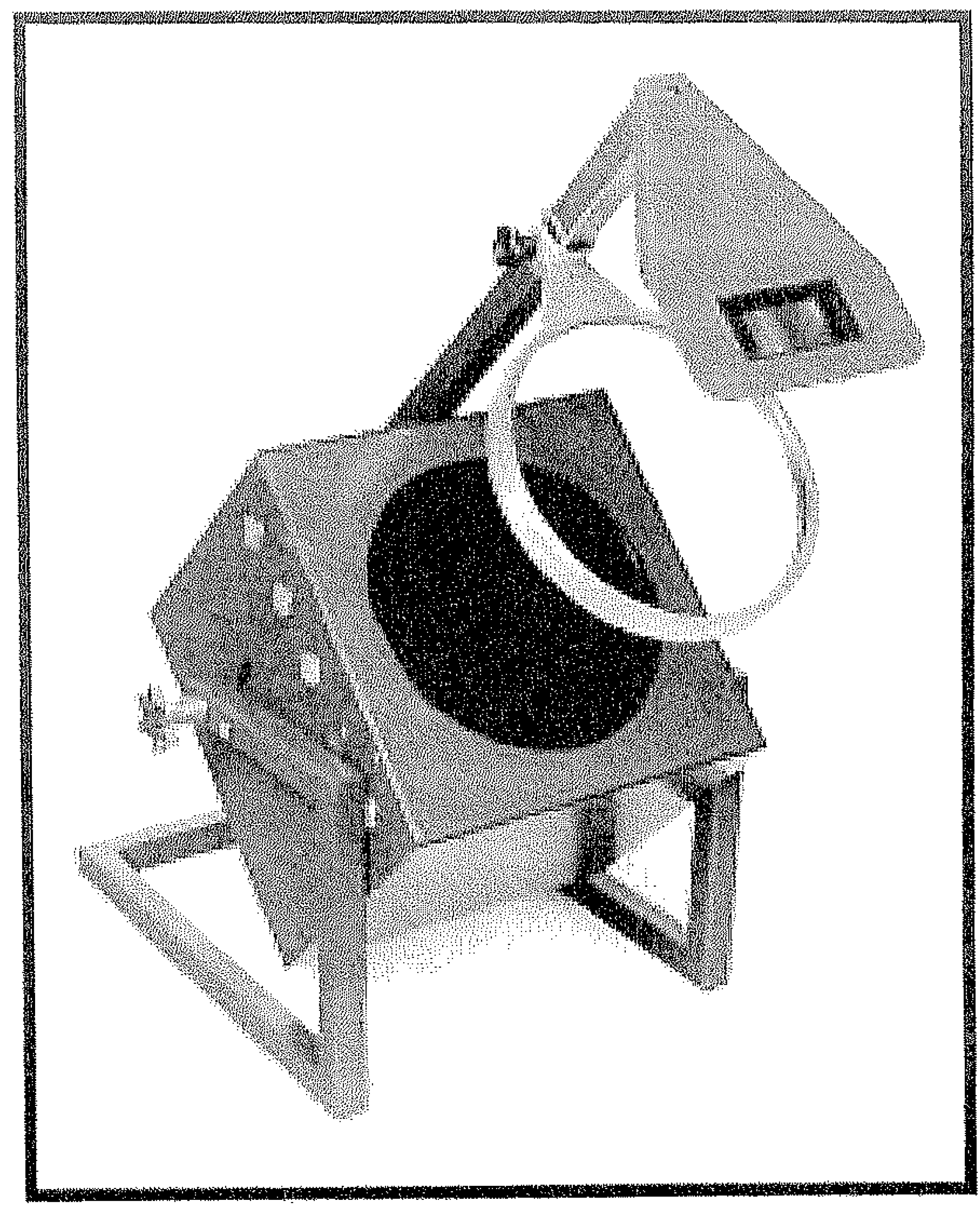


شكل (9) : عينة مجهدة

(نلاحظ المناطق المجهدة تظهر بألوان مشابهة لألوان قوس قزح)

في هذه العملية يستخدم جهاز الاستقطاب (Polariscope) الموضح في الشكل (10) لغرض توجيه إتجاه وطول موجة الضوء بالشكل المناسب الذي يضمن تشتت الضوء إلى مركبتين رئيسيتين كل واحدة بإتجاه أحد الإجهادين الرئيسيين، ويتكون ببساطة من مصدر ضوئي وعدستين الأولى توضع في طريق الضوء قبل الجسم تحت الفحص والثانية توضع بعد الجسم المفحوص. وهناك كاميرات توضع بعد العدسة الثانية لغرض تصوير الهدبات التي تظهر في الجسم.

تتكون الهدبات نتيجة مرور الضوء المستقطب في الجسم المحمل (بإستخدام مواد لها خواص خاصة وهي على شكل خطوط سوداء تظهر في المناطق الكثيرة الحمل. ويتناسب عدد هذه الهدبات مع شدة الحمل المسلط على الجسم.



شكل (10) :جهاز الاستقطاب (Polariscope)

13.1 دراسة البلورات بواسطة الضوء المستقطب المتقارب

لقد تم إستخدام الضوء المستقطب بصورة واسعة في مجال علم المعادن حيث يتم قطع شرائح شفافة من الصخور والبلورات لكي تفحص بواسطة المجهر المستقطب الذي يحتوي على مستقطب تحت المكثف ومحلل فوق العدسة الشيئية. يقوم المكثف بتجميع الضوء المستقطب على الشريحة وبعد ذلك يتفرق ليسقط على العدسة الشيئية، عندما يتم إستخدام ضوء أحادي الضوء الموجي فأن هيئة الصورة المتكونة عند المستوى البؤري للعدسة الشيئية تدل على :

1 - البلورة أحادية أو ثنائية المحور.

2 - إذا كانت أحادية المحور أين يقع المحور البصري.

3 - إذا كانت ثنائية المحور ما هو مقدار الزاوية بين المحورين البصريين.

عندما يتم إستخدام الضوء الأبيض يتم الحصول على خطوط ملونة واضحة المعالم. يتكون الشكل الذي يتم الحصول عليه من بلورة أحادية المحور مقطوعة عمودياً على المحور البصري من حلقات متحدة المركز، وعندما يتم مقاطعة المستقطب والمحلل يتم الحصول على علامة (×) فوق الحلقات الملونة ويمكن التخلص من هذه العلامة بإستخدام ضوء مستقطب بصورة دائرية. يمكن توليد منظر الحلقات المستقطبة بواسطة شريحة من البلورة، لوحين مستقطبين، لوحين ذات ربع موجة ولوحين زجاجيين للحماية .

14.1 إستخدام الضوء لقياس سمك الرقائق

1 - **طريقة فيزو** (Fizuo – Technique) .

إن طريقة فيزو (Fizou – Technique) هي طريقة التداخل الضوئي المضاعف فعند تسليط ضوء على سطحين عاكسين متقابلين تتكون أهداف تداخل مظلمة (على أرضية معينة) من الإشعاعات المنعكسة عنهما. ويعتبر (Wiener – 1887) أول من استخدم هذا الأسلوب في قياس سمك الغشاء، ولكن (Tolansky) طورها واعتمدها في قياس سمك الأغشية الرقيقة وسميت باسمه (أغشية تالنسكي). وتسمى هذه الطريقة أيضاً بأهداب فيرو (Fizou – Frihges) وقد اعتمدت هذه الطريقة بشكل رئيسي في معرفة سمك الأغشية أو الرقائق. ويمكن تفصيلها بالآتي:

a - تشتت الرقائق على قاعدة زجاجية ثم تحزز الرقائق خطوط مستقيمة متوازية بحيث يتم إظهار سطح القاعدة الزجاجية في المنطق المحززة.

b - تتجز طبقة عليه الانعكاسية من الفضة أو الألمنيوم بسمك (300 mm) على الرقائق المحززة في ضغط واطئ قدره (10^{-8} bar) فسوف يستقر الألمنيوم أو الفضة على الرقائق وعلى سطح القاعدة الزجاجية في الخطوط المستقيمة المحززة.

c - ترسب طبقة من الألمنيوم على قاعدة زجاجية منفصلة بحيث تصبح نصف شفافة أي إنها تنفذ جزءاً من الضوء وتعكس الجزء الأخر، وتضع فوق الرقائق المعدة خطوة (2).

d - تصمم منظومة القياس كما في الشكل (11 : a) فعند سقوط ضوء أحادي الطول الموجي بصورة عمودية على منظومة الانعكاس المضاعف المتكونة من الغشائيين أعلاه، ستتولد أهداب من الأشعة المنعكسة يظهر زحف حاد في ألأهداب (الشكل 11 : b) بسبب التغير المفاجئ في طول مسار الضوء المنعكس عند نقطة معينة (step) التي تفصل بين جزء الطبقة العاكسة فوق الغشاء المراد قياس سمكه والجزء الذي هو فوق سطح القاعدة. ويتم حساب السمك للرقائق أو الأغشية من العلاقة التالية :

$$\Rightarrow \quad t = \frac{\lambda}{2} \times \frac{x}{\Delta x}$$

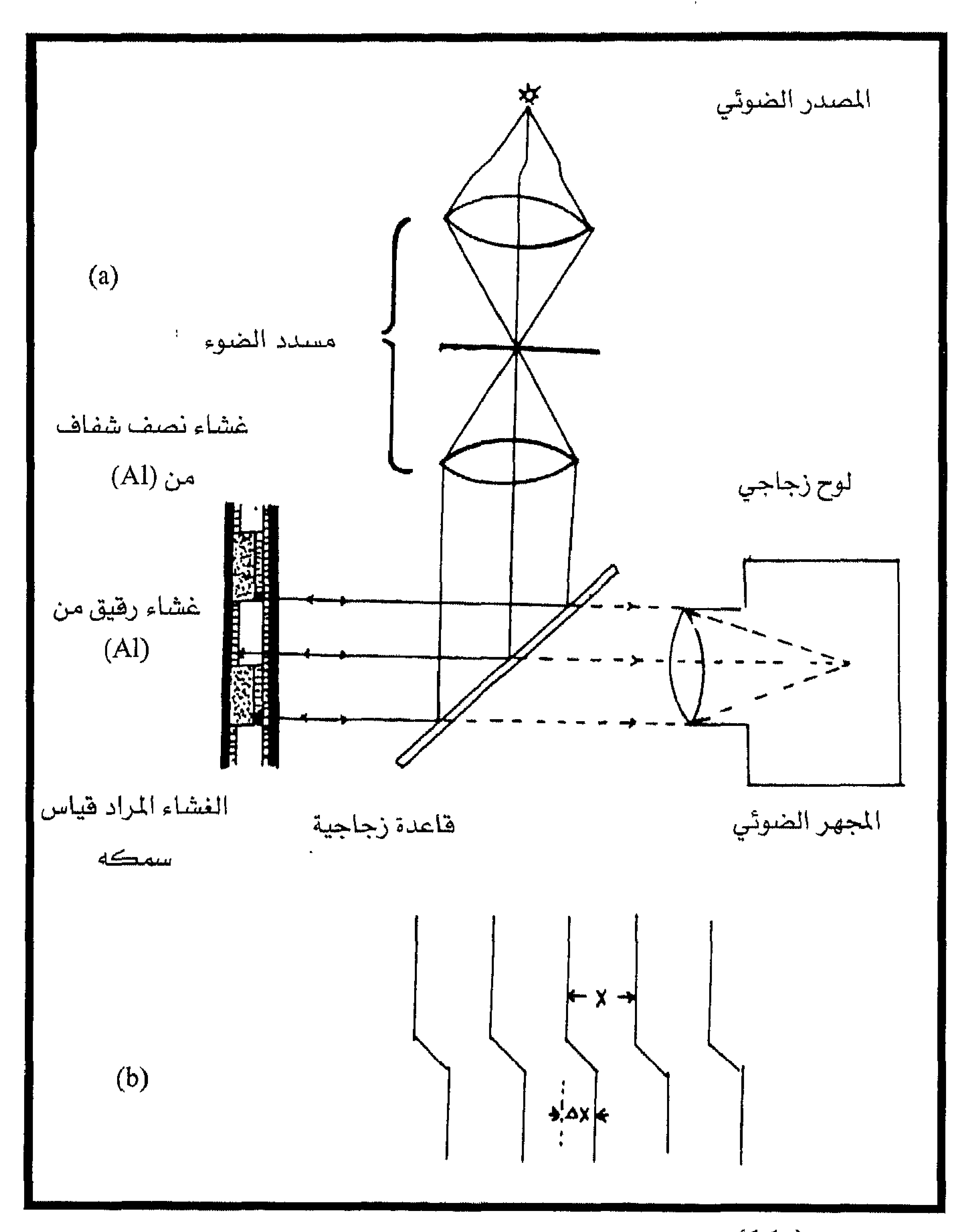
حيث :

t: سمك الغشاء.

λ: طول موجة الضوء المستخدم ويفضل ضوء الصوديوم ($5893A^0$).

x : البعد بين هدبين متتاليين.

Δx: مقدار الزحف في الأهداب نتيجة لإرتفاع العينة.



شكل (11): a - طريقة فيزو المستخدمة لقياس سمك غشاء رقيق

b - أهداب فيزو

15.1 قياس متوسط الإنبعاثية وتركيز السناج للغازات

عند دخول الضوء في وسط غازي أو عند نفوذه من طبقة السناج (Soot) يعاني امتصاصاً وانعكاساً نتيجة تشتت الضوء بواسطة ذرات الوسط وقسم منه ينفذ. وأن شدة الضوء النافذ تتناسب عكسياً مع سمك أو حجم الوسط وكذلك مع تركيز المادة. ولكي ندرس هذه الخاصية للضوء وللاستفادة منها في التطبيقات الصناعية علينا أن نعمل معايرة لشدة الضوء النافذ مع تركيز السناج وذلك يتم بزيادة تركيز السناج أو الوسط الغازي وتسجيل شدة الضوء النافذ وترسم القيم البيانية كما هو موضح أدناه، ومنه يمكن تركيز (Stool) أو الغاز من قياس شدة الضوء النافذ وذلك بإسقاط الخطوط العمودية من المنحني إلى الإحداثيات (الشدة والتركيز).

ومن أجل إستخراج الإنبعاثية لقيمة السناج (Emissirty) نستخدم قانون (Peero) :

$$m = 1 - e$$

حيث :

m: الإنبعاثية لقيمة السناج .

$$t = Optical\ \text{thickness} = \frac{35V}{A} = \frac{3 \times 5 \times \text{volume of gas elematm}}{surface\ \text{area}} \quad (1)$$

$$Km = \frac{36TT}{4107 \times 10^{-6}} \frac{Gs}{Ps} \frac{nK}{\left((n^2 - k^2) - 2\right)^2 + 4n^2k^2} \quad (2)$$

Km = mean absorption coefficient of soot

Gs = (soot) تركيز soot concentration (Kg/m).

Ks = soot أو كثافة soot material demsits (Kg/m).

n = معامل الإنكسار 2.04.

k = معامل الامتصاص 0.564.

تعتمد قيمة n، k على المادة المتكونة منها السناج أو الوقود المصروف.

T = temp.

ومن المعادلة (1) و(2) يمكن قياس متوسط الإنبعاثية ومتوسط معامل الامتصاص للسناج أما إذا أردنا قياس الإنبعاثية لطول أحادي أو معامل الامتصاص لطول أحادي من المعادلتين التاليتين وعلى التوالي:

$$K = \frac{36TT}{-k\lambda L}\,\frac{Gs}{Ps}\,\frac{nK}{\left((n^2-k^2)+2\right)^2+4n^2R^2} \qquad (3)$$

$$\gamma = 1 - e$$

γ = monochromatic emissirity.

k γ = monochromatic absorption coefficient.

L = optical thickness.

أما قياس متوسط الإنبعاثية لغاز معين فيتم حسب المعادلة التالية :

$$Eg = n\ \ agim(1 - e^{-kgmpL}) \qquad (4)$$

p = partialpreessare of the read gas.

Kn = specific absorption coefficient of gery goon

am = (b, n + b^2 , n) T

أو تكتب المعادلة (4) بالشكل التالي :

$$g = n = \ agim(1 - e^{-knL})$$

Kn = Kgin (PCO_2 + PH_2O)

ويمكن قياس متوسط الانبعاث لمزيج من السناج والغازات عملياً من المعادلة أدناه، وبعد استخراج متوسط إنبعاثية السناج (Soot) يمكن استخراج إنبعاثية الغاز:

$$Total = 1 - (1-m)(1-g)$$

Total = 1 – (1 – m) (1 – g).

m = mean emissirity of soot.

g = mean emissirity of gas.

16.1 قياس أقطار الدقائق لمادة معينة بواسطة حيود الضوء بطريقة هالوس (Halos)

يمكن قياس أقطار الدقائق المجهرية لمسحوق مادة معينة بهذه الطريقة، والتي تتلخص بأن نضع عدد كبير من دقائق المادة المراد قياس أقطار دقائقه وتوزيعها بصورة عشوائية في مستوى عمودي على مستوى سقوط جبهات الموجات الضوئية فإنه يتكون نموذج للحيود يمكن رؤيته. هذا الحيود متكون من سلسلة من حلقات ذات مركز واحد هو الثقب الوسطي ذو القطر (0.5mm-0.25mm) ويمكن التحقق من هذه الطريقة عملياً وذلك بوضع صفيحة زجاجية بعد رش المسحوق بصورة خفيفة بين الشاهد وصفيحة معدنية مثقبة بشكل نظامي وتوضع هذه الصفيحة المعدنية المثقبة أمام مصدر ضوء أحادي اللون فسوف يرى المشاهد ظهور سلسلة من حلقات بيضاء وسوداء متحدة المركز ويكون مركزها جميعاً هو الثقب الوسطي، وبالرجوع إلى حسابات ايري (AIRY) فأن أول حلقة سوداء ترى بإتجاه $\phi 1$ وبإتجاه سقوط الضوء حيث :

$$\phi 1 = r1 / D1 = 1.22\lambda / \delta$$

حيث:

δ: تمثل قطر دقائق المسحوق .

r: تمثل المسافة بين الثقب الوسطي والثقوب الجانبية.

D: المسافة بين الصفيحة المعدنية والزجاجية.

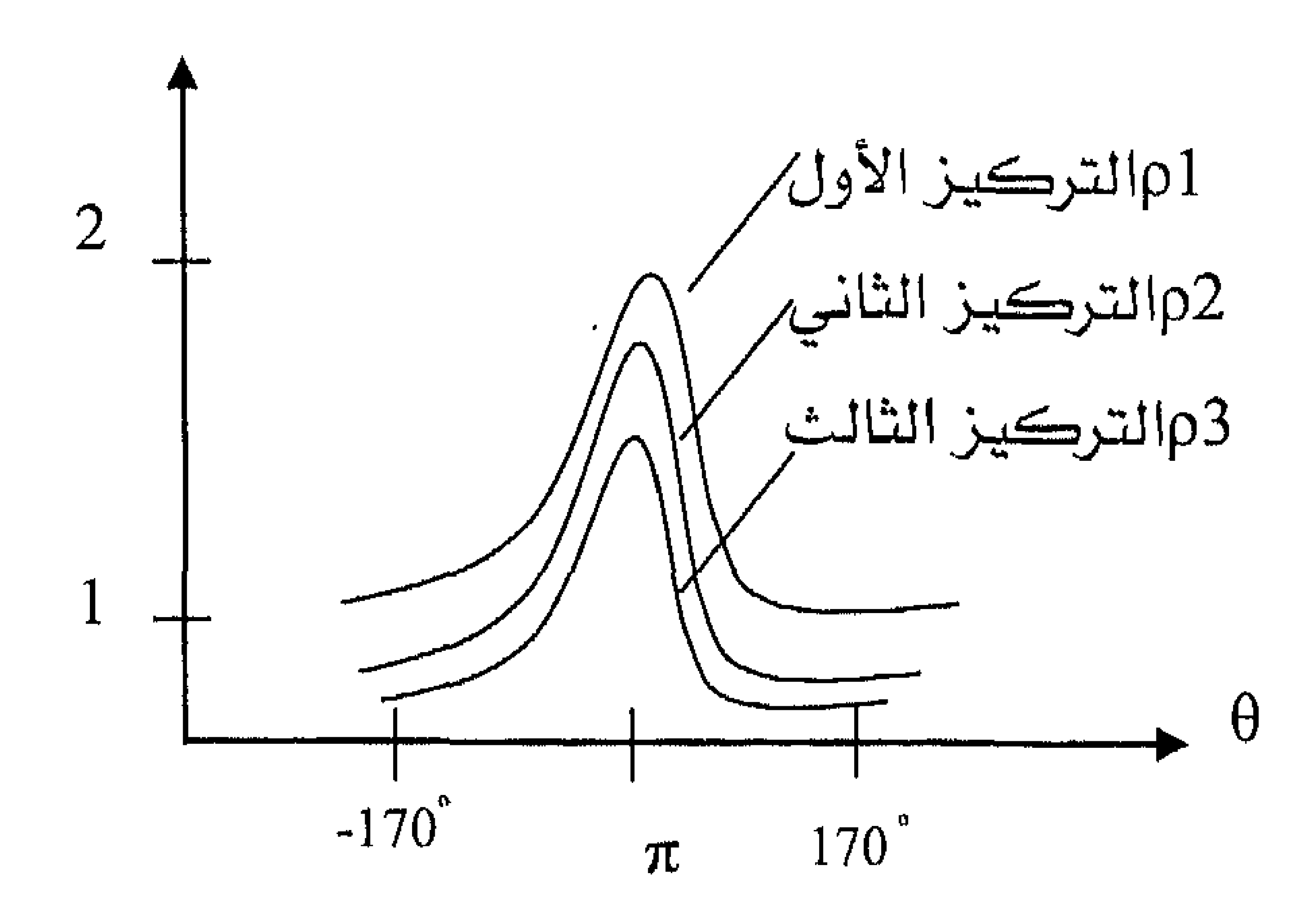
وبتحريك الصفيحة الزجاجية لتغيير المسافة D إلى أن ترى الحلقات السوداء الأولى منطبقة على أول ثقبين جانبيين في الصفيحة المعدنية، بعد ذلك يتم قياس قطر الدقيقة δ_1 حسب القانون السابق.

بعد ذلك نستمر بتغيير D بحيث تنطبق الحلقات السوداء الأولى على ثاني ثقبين جانبيين للثقب الوسطي، وبتطبيق المعادلة السابقة يمكن قياس قطر الدقيقة δ_2 وذلك من معرفة قيمة D_2

وr_2 التي نحددها ونستمر بتغيير المسافة D وقياس قيمة قطر الدقيقة δ ثم نأخذ المعدل لكل قيم δ لنحصل على قياس قطر دقائق المسحوق بشكل مضبوط.

17.1 التشتت الجزيئي للضوء في الأوساط اللامتجانسة وقياس تركيز الدهون

في تجارب عديدة تمت دراسة وبحث الخواص الرئيسية للتشتت العكسي في ظروف مختبرية مختلفة درسوا علاقة التركيز للجسيمات في السوائل والقمة الناتجة عنه (peak) فهناك علاقة وثيقة بين الشدة وتركيز الجزيئات حيث كلما يزداد التركيز تكون شدة التشتت عالية وبهذا تكون القمة أعلى ما يمكن وتقل الشدة لنقصان التركيز كما في الشكل التالي شكل (14) :



شكل (14) : تكون القمة أعلى ما يمكن وتقل الشدة لنقصان التركيز

أي أن عرض القمة (W) أو يتناسب مع تركيز الجزيئات الموزونة للسوائل المستخدمة كاللاتكس (latex)، كما درس هذا التأثير في أنظمة فيزيأوية أخرى مثل الكريستال السائل. إن سبب ظهور هذا الـ (peak) أو القمة يتلخص بما يلي :

أفرض في وسط لامتجانس جداً والذي يحوي على عدد كبير من الجسيمات المشتتة للضوء، حيث تسبب في تشتت متعدد للضوء حيث يظهر على شكل ضوء متسلسل بمتجهات موجية.

$$K_0 = K_j, \ldots\ldots\ldots, K_m = K_b$$

حيث:

K_j= متجه التشتت بعد j تشتت

$K_m = K_b$ متجه التشتت الأخير.

فضلاً عن كل ما تقدم يمكن القول أن هيئة أو شكل القمة (peak) الناتج عن التشتت العكسي تعتمد على المسار الذي يأخذه الضوء في الأوساط (lop) ويكون على نوعين:

a. ناتج عن الجسيمات القريبة من السطح.

b. ناتج عن الجسيمات القريبة من السطح والتي في عمق المادة (النموذج).

ومن ذلك نستنتج أن الجزء المركزي من القمة (peak) ناتج عن (lop) الطريق الذي سلكه الضوء المشتت من داخل (عمق) الخليط.

ممكن أن يطبق هذا الفحص على الحليب ومشتقاته أو أنواع الدهون أو زيت الديزل ، كذلك لإيجاد دالة التوزيع الإحصائي للفوتونات عملياً:

الأولى: على الحليب ومشتقاته حيث تم إستخدام الحليب باعتباره مادة لامتجانسة جداً حيث تحوي في تركيبها على الماء، والفوسفات، والملح، والسكر، والبروتينات، إضافة إلى الدهون والتي هي محور البحث حيث هي أكبر الجسيمات داخل الحليب إذ تتراوح بين 10 µm – 2(ميكروميتر) وبعد الحصول على الحليب الطازج تحأول عمله في مصنع للحصول على أقل مقياس لسكريات الدهون (1 – 2µm) نقوم بتجربتنا هذه والزمن المسموح للعمل بالنموذج من (2 – 3) ساعات بعدها يتلف النموذج، يتم قياس عدة عينات نسبة الدهن فيها من 0.3% إلى 30% دهن وبإستخدام طريقة التشتت العكسي وبإستخدام طريقة التشتت العكسي لضوء الليزر وبإستخدام برامج خاصة في الكومبيوتر يوجد تناسبٌ بين الـ (peak) أو عرض القمة (W_{eff}) والتركيز C الحجمي كما في الرسم (شكل 14) ، ومن ذلك استنتجنا أن هناك إمكانية إستخدام هذه الطريقة (محطة التجربة) في إيجاد تركيز الدهون في الحليب في المعمل مباشرةً بدون تدخل بشري ، كذلك يمكن إستخدام هذه الطريقة لإيجاد نسبة الدهون في زيت الديزل وكشف الغش الصناعى .

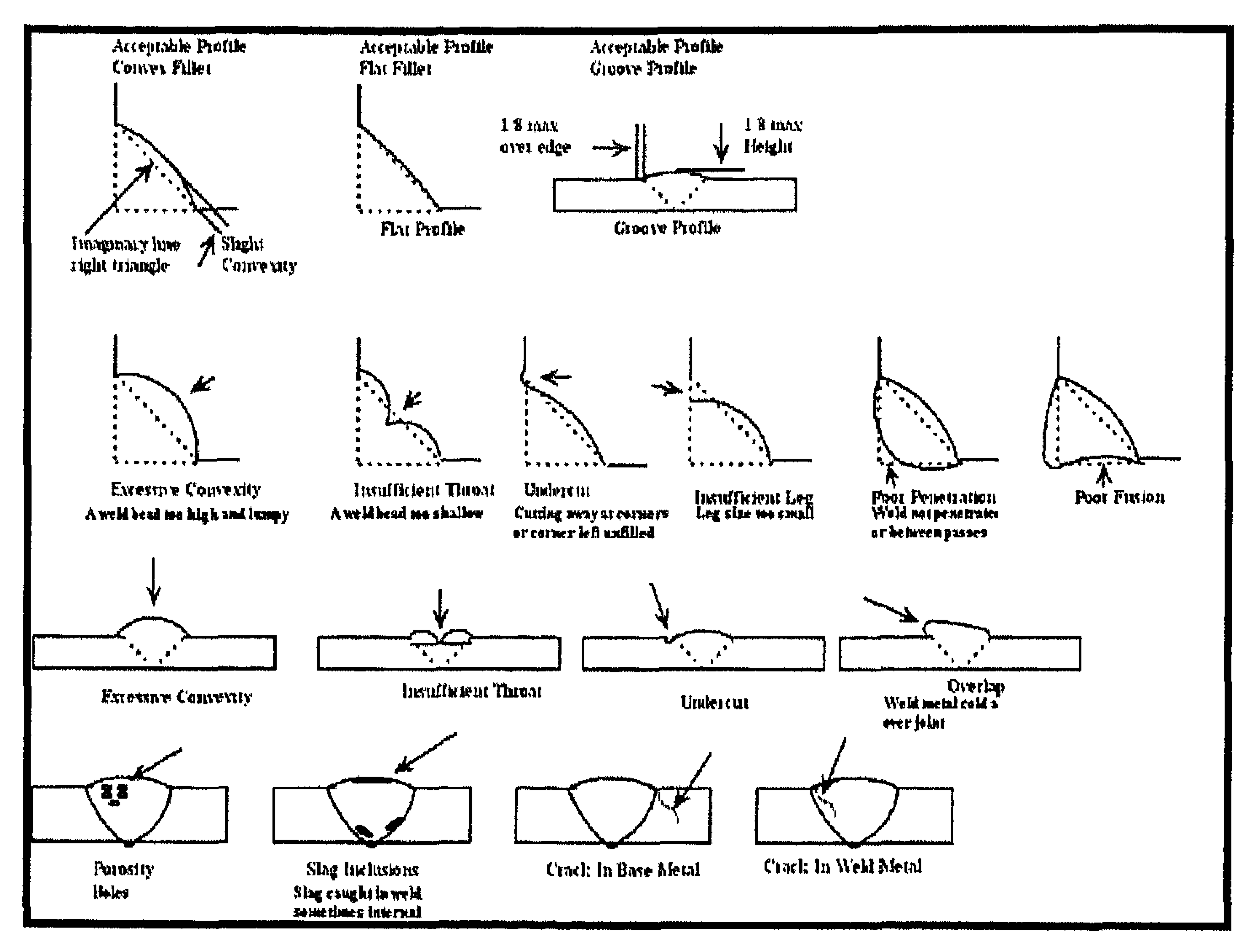
18.1 إختبار اللحام بصرياً

يعتبر الإختبار البصري من أقدم وأكثر وابسط الإختبارات غير الإتلافية شيوعاً ، نظراً لسهولة إجراءة وسرعة عمله وقلة تكاليفه. ان الإختبار البصري ضروري حتى ولو تقرر إجراء فحوصات اخرى على المادة. الإختبار البصري

يستوجب الخبرة الكافية لدى الفاحص. والفحص البصري لوصلة اللحام في اثناء عملية اللحام على سبيل المثال يعطي معلومات قيمة تتعلق بجودة اللحمة الجاري فحصها. ويستفاد منه في بيان ما اذا كانت العوامل مثل معدن الاضافة (معدن الحشو أو الملئ) ونوع اللهب، ونوع التيار الكهربائي وقطبيته، والعوامل المتغيرة الاخرى التي يتميز بها اسلوب اللحام المستخدم، تفي بالاشتراطات المطلوبة لضمان الحصول على جودة عالية. ويمكن للفاحص الكفء عن طريق مشاهدة الكيفية التي ينصهر بها سلك الحشو أو الالكترود. وملاحظة مدى الصهر والتغلغل، والإنصات إلى صوت القوس، ومراقبة ضبط لهب المشعل، ان يقوم في دقة معقولة جودة اللحمة الناتجة. وبالنسبة للحمات متعددة الاشرطة ، يكشف فحص سطح كل طبقة من طبقات معدن اللحمة، قبل تغطيتها بالطبقات التالية، عن وجود حالات غير مرغوب فيها ، مثل انصهار الخبث والصهر الضعيف والشروخ.

والفحص البصري بعد اللحام يسمح للمفتش بالحكم إلى حد ما، على جودة اللحمة بمظهرها الخارجي. وليس لازماً ان يكون المظهر الجيد دليلاً على جودة اللحام، ولكن بعض خواص الوصلة الملحومة المنجزة يكن الحكم عليها من:

1. مظهر اللحمة وانتظاميتها وخشونة سطحها، والتناثر الموجود عليها.
2. العيوب مثل لشروخ والمسامية والنقر غير الملوءة .... الخ.
3. الدقة البعدية للحمة ، 4. امتداد اللحمات وتوزيعها ومقاسها وكنتورها واستمراريتها، كما في الشكل رقم(15).



شكل (15) : مقاطع مستعرضة في لحمات مقبولة وأخرى معيبة

هنالك مجموعة من الأدوات التي تساعد الفحص البصري على تعيين مناطق التآكل منها:

1. القاشطة وهي أداة تشبه السكين لقشط الأوساخ والطبقات المغطية للمعدن .
2. مطرقة مدببة صغيرة تستعمل لتنظيف الحفر من الأوساخ ولمعرفة عمق الحفرة بالضبط.
3. مرآة صغيرة عاكسة، عادة تكون موصلة بقضيب مرن ليمكن إدخالها إلى السطوح المخفية عن المعين وتوجد عدة أحجام منها.
4. مكبرات بعدة أحجام لمشاهدة التشققات السطحية والفقاعات الهوائية.
5. المصابيح اليدوية، لتمكن التمعن في سطح المعدن ولكشف عن التآكل في المناطق الضيقة والمخفية بخاصة داخل الأوعية والأبراج

التشغيلية المظلمة فالإضاءة الجيدة ضرورة جداً.

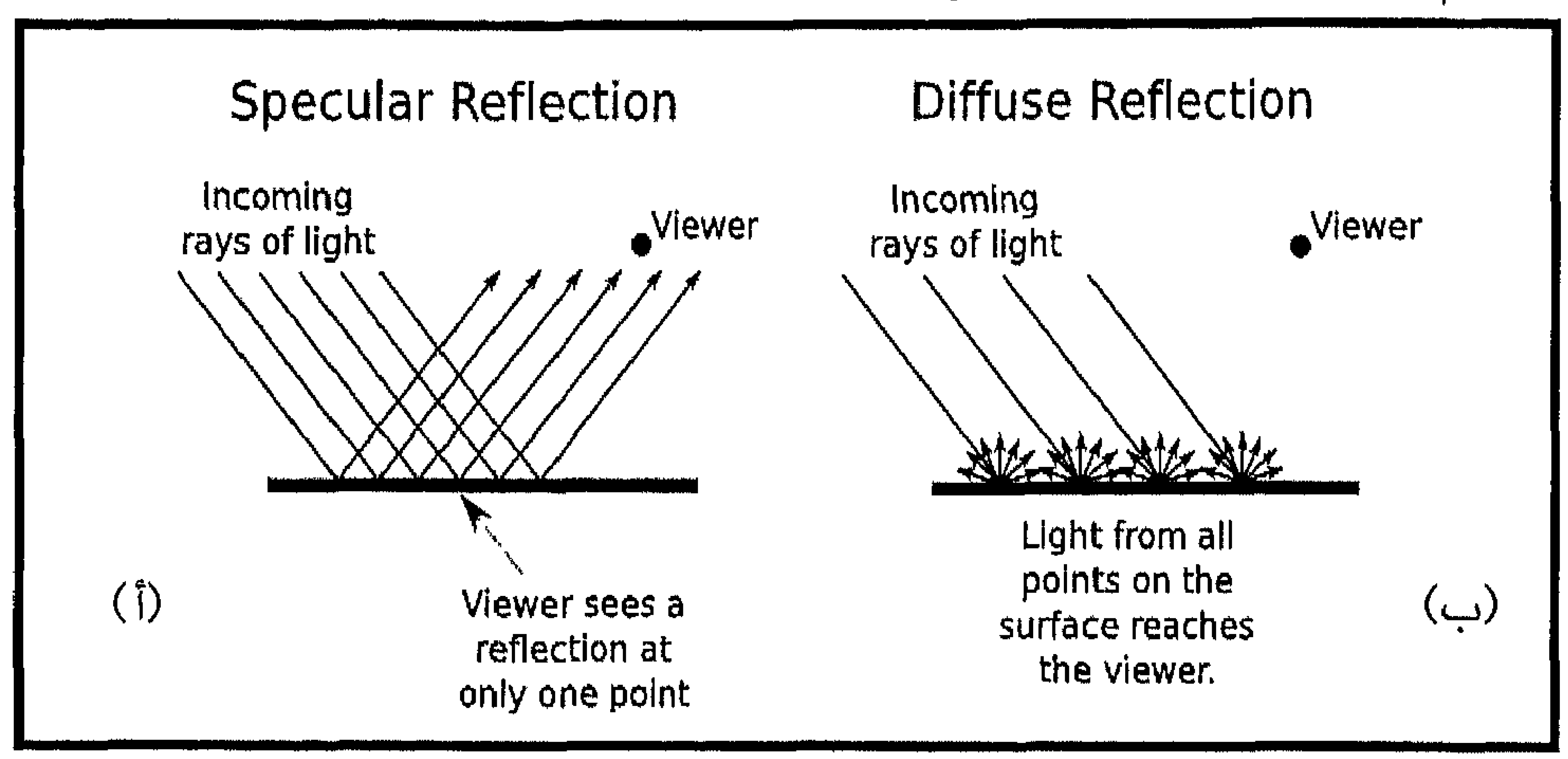
6. جهاز فحص الأنابيب من الداخل (Endoscope) وهو عبارة عن إنبوب صغير طوله 6 أقدام يحتوي في نهايته على مصباح صغير للإضاءة وتدخل هذه النهاية في داخل الإنبوب المراد مشاهدته. من الجهة الثانية يوجد ناظور يمكن بواسطته مشاهدة المناطق التي يضيئها المصباح. يستعمل هذا الجهاز للمشاهدة داخل. أنابيب الأفران ليوضح وجود حفر أو أي نوع من التآكل.

مساعدات الرؤية (Optical Aids to Vision) .

تعمل الأجهزة البصرية مثل المرايا والعدسات والمجاهر والتلسكوبات والبيريسكوبات (Periscops) على تكبير الأجزاء الدقيقة التي لا ترى بوضوح حتى تمكن ان تراها العين المجردة البشرية. وتستخدم البورسكوبات (Bore Scopes) في توضيح الرؤية داخل المواسير المجوفة والاماكن والاسطح الداخلية. يعتبر الفحص بواسطة مرآة كبيرة من ابسط الطرق للنظر إلى مسافة من الصعب الاقتراب منها. ومن مميزات استعمال المرآة ان جزاءاً منها يستعمل في تكبير الجسم حيث تكون الحزمة الضوئية – محصورة بحدقة العين. واذا استخدم جهاز مساعد آخر كالتلسكوب فإن الشيئية تحل محل حدقة العين. وللاستفادة من ظاهرة عدم حدوث تغير في زاوية السطور اثناء سير الشعاع الضوئي مالم يحدث تغير في نوع الوسط الذي تمر فيه الاشعة.

وتؤثر نعومة السطح تأثيراً كبيراً على كلال المعادن ومقاومة الاحتكاك والنعومة الزائدة لسطح ما كالخشونة الزائدة غير المرغوب فيها. وعند فحص خشونة السطح بالعين المجردة مع الاستعانة ببعض الأشعة الضوئية فان العين تشعر بالخشونة نتيجة للأشعة المنعكسة إليها. ويبن الشكل رقم (16) سطحين أ و ب متساويين سطحين أ و ب متساويين في الخشونة مع إختلاف نوعيهما وسطح ثالث يظهر واضحاً إنه اقل نعومة من السطح (أ) نتيجة لقلة عدد الأشعة المنعكسة

للعين. وبتغيير زاوية الأشعة الصادرة من المصدر الضوئي تظهر أجزاء كانت مختفية وتختفي أخرى كانت ظاهرة، وبالتالي يمكن الحصول على صور عديدة للجسم بكاملة بتغيير زاوية سقوط الأشعة.



شكل (16) : إنعكاس الأشعة من الأسطح الخشنة

قياس خشونة الأسطح (Surface Roughness Measurement)

وتعتمد الأجهزة المستعملة في قياس خشونة الأسطح أساساً على مبادئ علوم البصريات والميكانيكية والصوت وتعتمد معظم تلك الأجهزة على التكبير الكهربائي لحركة قلم معدن موضوع عمودياً على السطح المراد إختباره. من الطرق المستخدمة الآتي :

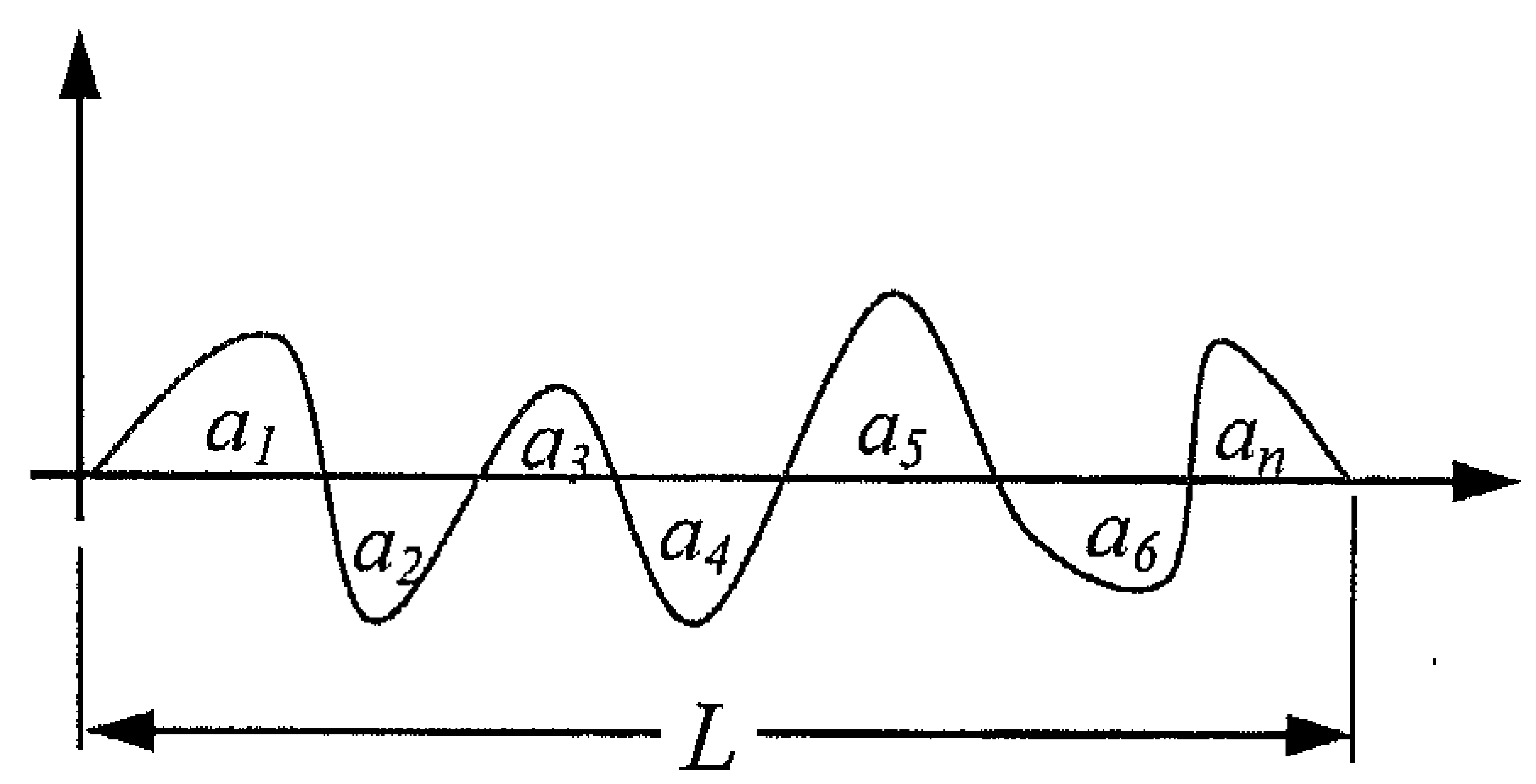
1 - **طريقة متوسط الخط المركزي** (Center - Line Average -CLA) .

وتسمى أيضاً طريقة متوسط الخشونة (*Roughness Average*) ويُشار إليها إختصاراً (R_a) ويمكن تعريف هذه الطريقة على إنها متوسط الإنحرافات الموجودة فوق وتحت المستوي الوسطي للسطح مُقاسة ضمن مسافة معينة . ويمكن حسابها من المعادلة التالية :

$$R_a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{L}$$

$$R_a = \frac{1}{L}\left(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n\right)$$

$$\Rightarrow \quad R_a = \frac{1}{L}\int_0^L y(x)dx$$



حيث إن :

R_a = خشونة السطح .

L = الطول التقديري .

y = الإرتفاع والإنخفاض .

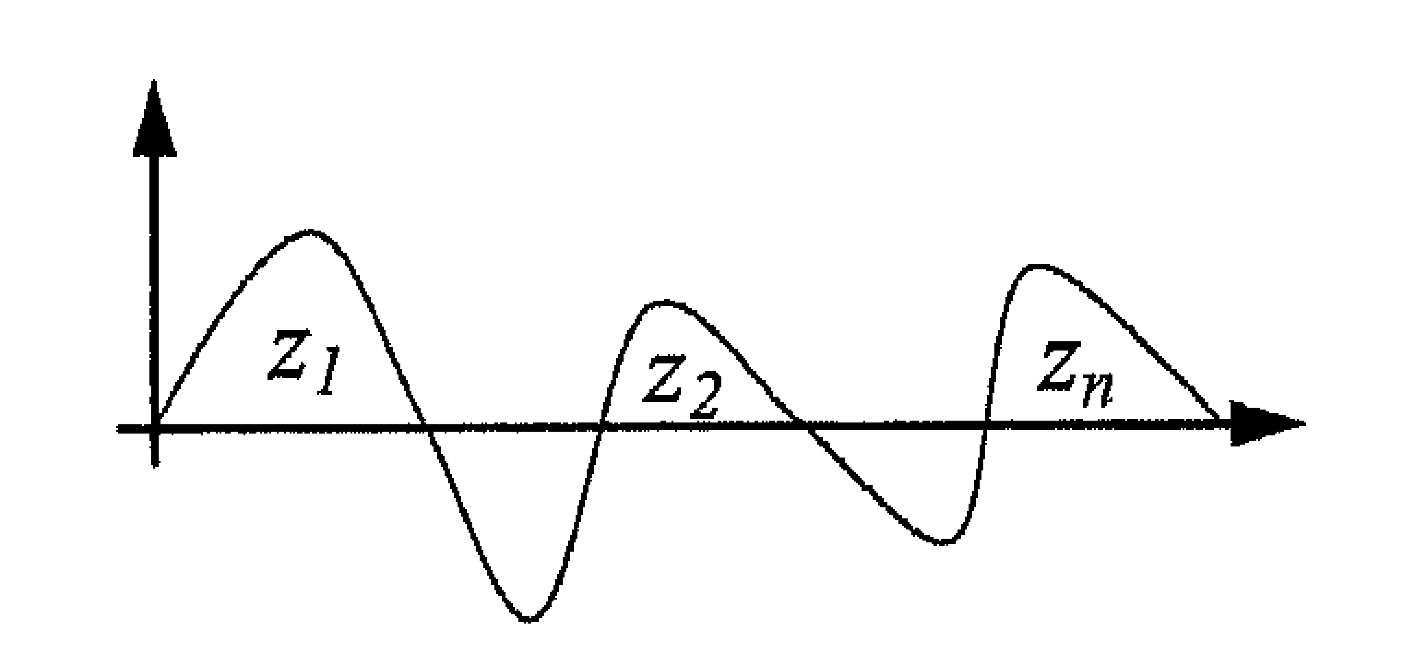
x = المسافة على طول القياس .

2 - **طريقة متوسط الجذر التربيعي** (Root Mean Square Average) .

ويرمز لها إختصاراً (*MRMS*) أو (R_q) . تستخدم هذه الطريقة في الولايات المتحدة الأمريكية عن طريق ربط فولتميتر (*AC*) لقياس الجذر التربيعي للإشارة الكهربائية للإرتفاعات وكما يلي :

$$R_q = \sqrt{\frac{z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 + \dots + z_n^2}{n}}$$

$$\Rightarrow \quad R_q = \sqrt{\frac{1}{L}\int_O^L y^2(x)dx}$$



حيث إن :

n = عدد الإرتفاعات .

z = الإرتفاع .

3 - طريقة متوسط الارتفاع بين القمة والقعر

(Average Peak to valley Height)

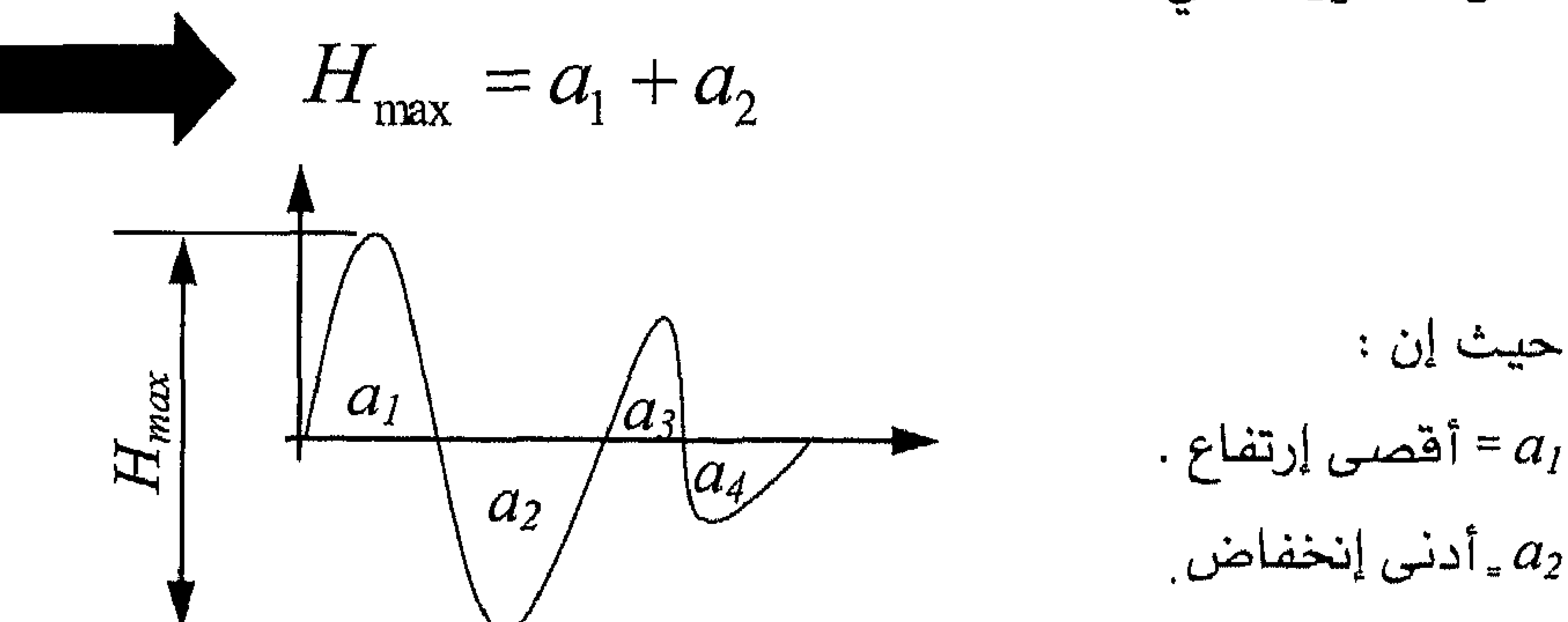
ويرمز لها بالرمز (R_z) تأخذ هذه الطريقة خمسة إرتفاعات وخمسة إنخفاضات فقط والتي تقع ضمن طول محدد (L) . ويمكن حساب مقدار الخشونة من القانون التالي :

$$R_z = \frac{(a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) - (b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5)}{5}$$

4 - طريقة أقصى إرتفاع (Maximum Height) .

ويرمز لها بالرمز(H_{max}) وهي من الطرق القديمة في حساب خشونة السطح وتعتمد على أخذ الإرتفاع الأقصى بين أعلى قمة وأدنى إنخفاض ويمكن حسابها من القانون التالي :

$$H_{max} = a_1 + a_2$$

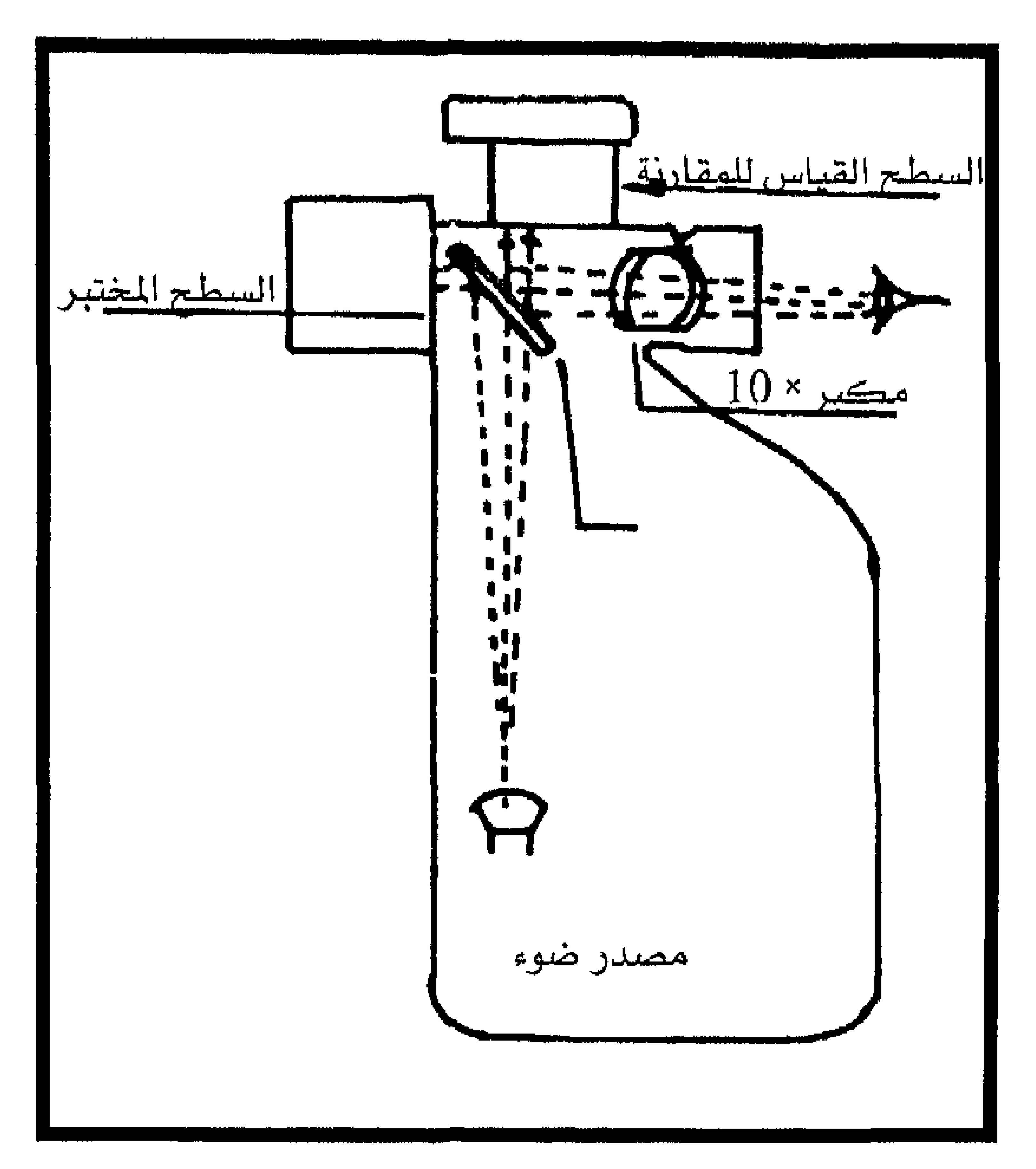


حيث إن :

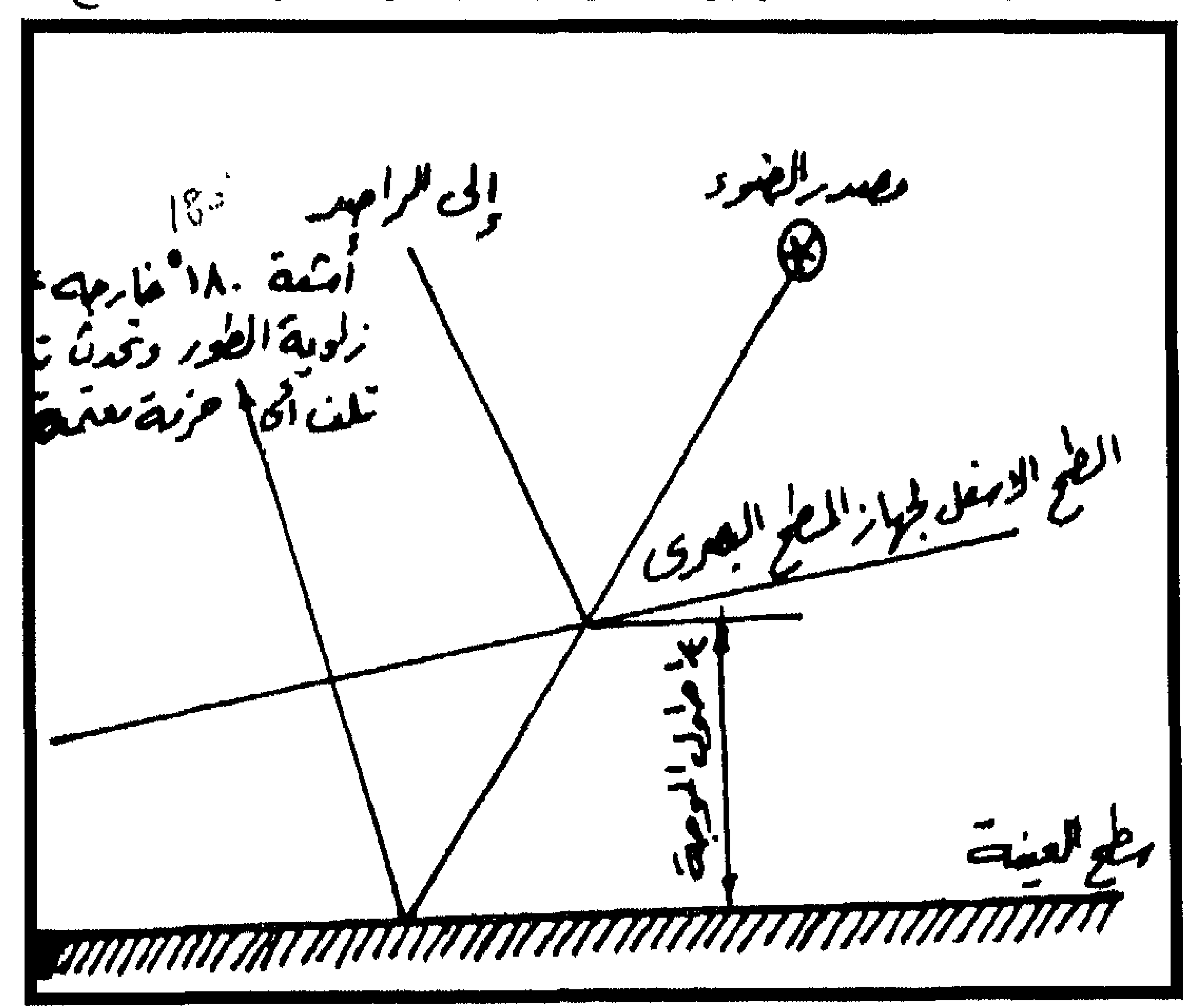
a_1 = أقصى إرتفاع .

a_2 = أدنى إنخفاض.

قياس خشونة سطح أي عينة بواسطة جهاز بوش ولومب عن طريق مقارنة بسطح عينة ذات نعومة معينة معلومة، كما في الشكل (17). أما الشكل رقم (18) يوضح إختبار خشونة الأسطح بالمسطح البصري. وتوجد أجهزة أخرى متنوعة لبيان مدى خشونة السطوح مبينة على أسس ضوئية وميكانيكية وكهربائية والكترونية مثل الخلايا الضوئية (Photo – cells) والأساليب الضوئية (Photo – Tubes).



شكل (17) : جهاز بوش ولومب لقياس خشونة الاسطح



شكل (18) : إختبار خشونة الأسطح بالمسطح البصري

19.1 قياس الدوران النوعي لمحلول نشط بصرياً بإستخدام جهاز البولاريمتر

عندما يكون محور إستقطاب المستقطب (Polarizer) ومحور استقطاب المحلل (Analyzer) متعامدين فأن الضوء الاعتيادي (غير مستقطب) الساقط على المستقطب يمكن أن ينفذ من خلال المحلل. إذا وضعت صفيحة من الكوارتز بين المستقطب N والمحلل (N) المتعامدين بحيث يكون وجه الصفيحة موازي إلى المحور البصري، ويسقط الضوء عمودياً على الصفيحة، تجد بأن الضوء سينفذ من خلال المحلل (N) أي أن صفيحة الكوارتز تقوم بتدوير مستو إهتزاز الضوء المستقطب الساقط عليها. إن التدوير الحاصل بمستو إهتزاز الضوء المستقطب يحصل داخل صفيحة الكوارتز وليس على السطح ويعتمد على :

1 - سمك الصفيحة .

2 - الطول الموجي للضوء الساقط .

إن خاصية تدوير مستو الإهتزاز لأي ضوء مستقطب بإستخدام بلورات أو مواد معينة يسمى (بالنشاط البصري) وهذه المواد المستخدمة تسمى بالمواد المنشطة بصرياً ومن أمثلتها : بلورات السكر، محاليل السكر، كلورات الصوديوم.

إن بعض المواد المنشطة بصرياً تقوم بتدوير مستوى الإهتزاز الضوئي المستقطب بإتجاه عقرب الساعة عندما ينظر المشاهد إلى الضوء الساقط بإتجاهه وتسمى هذه المواد يمينيه وأخرى تدور مستوى الإهتزاز عكس إتجاه عقرب الساعة وتسمى يسارية. إن تدوير مستوى إهتزاز الضوء المستقطب في المحاليل يعتمد على تركيز المادة الموجودة في أي محلول، ولقد قدم فرينيل تفسيراً إلى ظاهرة النشاط البصري لبعض المواد دون غيرها.

20.1 تفسير فرينيل لظاهرة النشاط البصري لبعض المواد

إن الضوء المستقطب الخطي يمكن أن يعتبر كمحصلة لموجتين مستقطبتين دائرياً تدوران في إتجاهين متعاكسين ولهما نفس السرعة الزاوية. ولقد افترض فرينيل أن الضوء المستقطب استوائياً عندما يدخل في أية بلورة بإتجاه المحور البصري لها وإنه يتحلل إلى مركبين مستقطبين دائرياً تدوران في إتجاهين متعاكسين ولهما نفس السرعة الزاوية أو نفس التردد وكما موضح في شكل (18) .

OL: يمثل المركبة المستقطبة دائرياً التي تدور عكس إتجاه عقرب الساعة.

OR: يمثل المركبة المستقطبة دائرياً التي تدور مع إتجاه عقرب الساعة.

OA: يمثل المحصلة للمركبتين.

حسب فرضية فرينيل فأن الضوء المستقطب خطياً عندما يدخل من البلورات غير منشطه بصرياً مثل الكالسايت وبإتجاه المحور البصري لها ، فأن المركبتين المستقطبتين دائرياً واللتان تسيران في إتجاهين متعاكسين ستبقى لهما نفس الزاوية، أي أن المركبة المحصلة لهما ستكون بالإتجاه AB أوOB، لذلك فأن البلورات المتشابهة للكالسايت لا تدور مستوى إهتزاز الضوء المستقطب.

أما في حالة البلورات النشطة بصرياً مثل الكوارتز، فأن الضوء المستقطب خطياً عندما يدخل البلورات فإنه يتحلل إلى مركبتين مستقطبتين دائرياً تدوران بإتجاهين متعاكسين، بالنسبة للبلورات النشطة بصرياً اليمينية فأن المركبة التي تكون بإتجاه عقرب الساعة تسير بسرعة أكبر، بينما البلورات النشطة بصرياً اليسارية فأن المركبة التي تكون عكس عقرب الساعة تسير بسرعة أكبر.

لنأخذ بنظر الاعتبار بلورة كوارتز وهي نشطة بصرية يمينية وأن المركبة التي بإتجاه عقرب الساعة تسير بزاوية أكبر من المركبة التي تكون بإتجاه

عكس عقرب الساعة عند خروجها من البلورة، لذلك فأن المحصلة لهاتين المركبتين OR وOL ستصبح بإتجاه AB. قبل دخول البلورة كان مستوى إهتزاز الضوء المستقطب خطياً بالإتجاه AB وبعد خروجه من البلورة أصبح مستوى إهتزازه بالإتجاه AB ، أي أن مستوى إهتزاز هذا الضوء المستقطب خطياً قد تم تدويره بزاوية s/z. إن مقدار الزاوية التي يدور بها مستوى إهتزاز الضوء المستقطب خطياً المار خلال بلورة نشطة بصرياً يعتمد على سمك البلورة.

21.1 الدوران النوعي

إن المحاليل المحتوية على مادة نشطة بصرية مثل محاليل السكر تقوم تدوير مستوى إهتزاز الضوء المستقطب المار خلالها. إن مقدار التدوير الحاصل للضوء المستقطب يعتمد على:

1 - سمك الوسط.

2 - تركيز المحلول أو كثافة المادة النشطة بصرياً في المحلول.

3 - الطول الموجي للضوء.

4 - درجة الحرارة.

يعرف الدوران النوعي على إنه مقدار التدوير الحاصل لضوء مستقطب عند مروره خلال محلول نشط بصرياً بطول موجي يحتوي على 1 غرام من المادة النشطة بصرياً لكل سم من المحلول، حيث يمكن كتابته بالعلاقة التالية:

$$S_{\lambda}^{t} = 10\phi / LG$$

حيث إن :

S_{λ}^{t} : يمثل الدوران النوعي في درجة حرارة 10 tولطول موجي λ .

Ø : زاوية التدوير.

L: الطول بالسم لأنبوبة المحلول النشطة بصرياً.

G: تركيز المادة النشطة (gm/cm).

الفحوصات اللاإتلافية للمواد الهندسية

مبادئ أساسية وتطبيق



الفصل الثاني

الفحص بالليزر

Laser Test



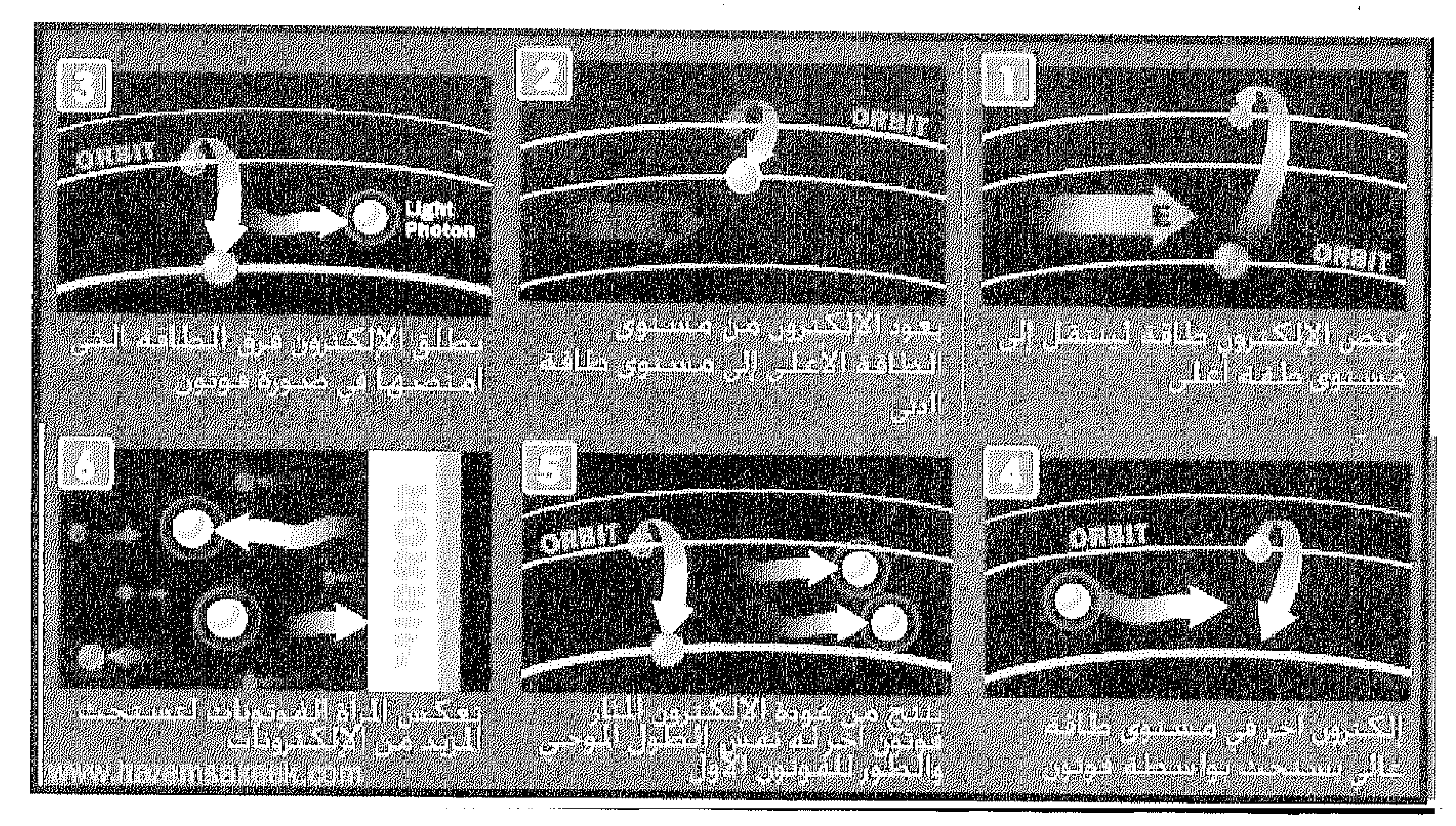
الفصل الثاني

الفحص بالليزر Laser Test

1.2 المقدمة

إن كلمة ليزر (Laser) هي مختصر للكلمات (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) والتي تعني تكبير الضوء بواسطة الإنبعاث الحثي للإشعاع الكهرومغناطيسي . لقد دخلت أشعة الليزر في العديد من المنتجات التكنولوجية فتجدها عنصر أساسي في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو في آلات طبيب الأسنان أو في معدات تلك الأجهزة تستخدم الليزر.

لقد تنبأ العالم ألبرت أينشتاين في 1917 بوجود الليزر حيث وضع الأساس النظري لعملية الإنبعاث الإستحثاثي وتم تصميم أول جهاز ليزر في 1960 بواسطة العالم ميمان (T.H.Maiman) بإستعمال بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت (Ruby laser) . الشكل (1) يوضح تفاصيل عملية إنتاج الليزر من خلال نظام ذو ثلاثة مستويات للطاقة .



شكل (1) : يوضح تسلسل مراحل إنتاج شعاع ليزر

يتميز الليزر بطوله الموجي فمثلا الطول الموجي لليزر الياقوت هو (694 nm)، ويتم إختيار مادة الليزر بناء على الطول الموجي المطلوب ، فمثلاً يستخدم ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون في قطع المعادن الصلبة لأن طوله الموجي في مدى الأشعة تحت الحمراء وهي أشعة حرارية إذا سقطت بتركيز على سطح معدن تذيبه. العامل المهم في إنتاج الليزر هو المرايا المثبتة على جانبي مادة إنتاج الليزر.

تساعد المرايا على عكس بعض الفوتونات إلى داخل مادة الليزر عدة مرات لتعمل هذه الفوتونات على استحثاث الكترونات مثارة أخرى لتطلق مزيدا من الفوتونات بنفس الطول الموجي ونفس الطور، وهذه هي عملية التكبير للضوء تصمم إحدى هاتين المرآتين لتكون عاكسيتها أقل من 100٪ لتسمح لبعض الفوتونات من الخروج عبرها وهو شعاع الليزر الذي نحصل عليه.

2.2 تصنيف الليزر

يصنف الليزر بأربعة تصنيفات تعتمد على خطورتها على الخلايا الحية . فعند التعامل مع الليزر يجب الإنتباه إلى الإشارة التي توضح تصنيفه. إشارة تحذير بوجود ليزر

التصنيف الأول ويشمل :

(Class I) : ويعني أن شعاع الليزر ذو طاقة منخفضة ولا يشكل درجة من الخطورة.

(Class IA) : هذا التصنيف يشير إلى أن الليزر يضر العين إذا نظرنا في اتجاه الشعاع ويستخدم في السوبر ماركت كماسح ضوئي وتبلغ طاقة الليزر الذي يندرج تحت هذا التصنيف(4mW).

التصنيف الثاني (Class II) :

هذا يشير إلى ليزر ضوئه مرئي وطاقته لا تتعدى(mW.1)

التصنيف الثالث ويشمل :

(Class IIIA) : طاقة الليزر متوسطة وتبلغ (1 -5 mW) وخطورته على العين إذا دخل الشعاع المباشر في العين. ومعظم الأقلام المؤشرة تقع في هذا التصنيف.

(Class IIIB) : طاقة هذا الليزر أكثر من المتوسط.

التصنيف الرابع (Class IV) :

وهي أنواع الليزر ذات الطاقة العالية وتصل إلى(500mW) للشعاع المتصل بينما لليزر النبضات فتقدر طاقته بـ 10 J/cm2 ويشكل خطورة على العين وعلى الجلد وإستعمال هذا الليزر يتطلب العديد من التجهيزات وإجراءات الوقاية.

3.2 أنواع الليزر

يأتي الليزر بأنواع مختلفة حسب الإستعمالات وتنوع الليزر يأتي من تنوع المادة المستخدمة لإنتاجه فهناك من المواد الصلبة والسائلة والغازية، ويعتبر نوع المادة الأساس الأكثر إستعمالاً للتميز بين الأنواع المختلفة. ويسمى الليزر من خلال نوع المادة المستخدمة فمثلاً ليزر الهليوم نيون He-Ne يعني إن المادة المستخدمة هي خليط من الهليوم والنيون وليزر الياقوت يعني ان المادة المنتجة لليزر هي الياقوت وهكذا لباقي الأنواع الأخرى. ولنأخذ بعض الأمثلة لأنواع مختلفة لليزر:

1 - **ليزر الحالة الصلبة (Solid-state laser)** : هو الليزر الذي ينتج بواسطة مادة أو خليط من مواد صلبة مثل الياقوت ruby أو خليط الألمنيوم واليتريم والنيوديميم ويسمى بليزر (YAG)إختصاراً ويكون طوله الموجي في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

2-**ليزر الغاز (Gas laser)** : وهو يعتمد على مادة غازية مثل الهليوم والنيون وغاز ثاني أوكسيد الكربون وتكون أطوالها الموجية في مدى الاشعة تحت الحمراء وتستخدم في قطع المواد الصلبة لطاقتها العالية.

3 - **ليزر الإكسيمر (Excimer laser)** : وتطلق على أنواع الليزر التي تستخدم الغازات الخاملة مثل غاز الكلور أو الفلور أو الكريتون أو الآرجون وتنتج هذه الغازات أشعة ليزر ذات أطوال موجية في مدى الأشعة فوق البنفسجية .

4 - **ليزر الأصباغ (Dye laser)** : وهي عبارة عن مواد عضوية معقدة مثل الرودامين 6G (Rhodamine) مذابة في محلول كحولي وتنتج ليزر يمكن التحكم في الطول الموجي الصادر عنه.

5 - **ليزر أشباه الموصلات (Semiconductor laser)** : ويطلق عليه أحياناً بليزر الدايود ويعتمد على المواد شبه الموصلة ويمتاز بحجم ليزر صغير ويستهلك طاقة قليلة ولذلك يستخدم في الأجهزة الدقيقة مثل أجهزة الأقراص المدمجة وطابعات الليزر .

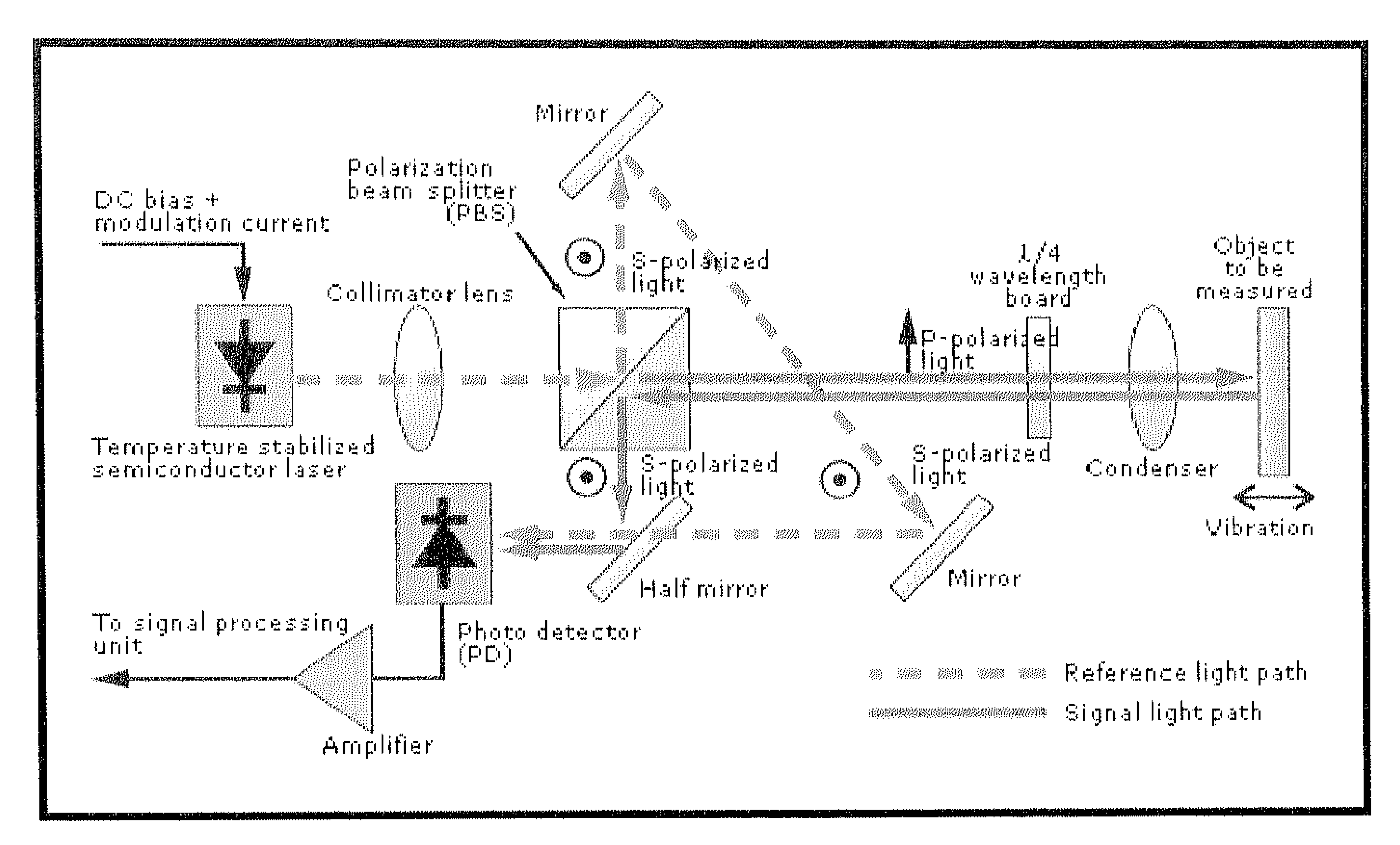
4.2 القياسات بإستعمال الليزر

هنالك مجموعة من الطرق التي تستعمل الليزر في القياس يمكن إدراجها كما يلي :

أولاً: القياس بإستعمال ظاهرة التداخل

يقسم شعاع الليزر إلى قسمين بإستعمال مرآة نصف شفافة ويعاد جمع القسمين مرة أخرى بعد انعكاسها عن مرآتين بينهما زاوية قائمة (90 درجة) إحداهما ثابتة والأخرى متحركة والشكل (2) يوضح مخططاً لذلك . توضع المرآة الثابتة والمرآة نصف الشفافة على قاعدة واحدة وتثبت مع جهاز الليزر جيداً والمرآة الأخرى تتحرك على خط مستقيم عن التقاء الشعاعين مرة ثانية يحصل تداخل بينهما ونحصل على أهداب مضيئة وأخرى مظلمة (تداخل بناء وهدام) حركة المرآة المتحركة تسبب حركة في الأهداب وبإستعمال خلية ضوئية يمكن حساب عدد الأهداب المتحركة نتيجة حركة المرآة المتحركة بمقدار نصف طول موجة شعاع الليزر إلى حركة هدب واحد (أي إحلال هدب مظلم مكان هدب مضيء أو مضيء مكان مظلم).

من ذلك يمكن ملاحظة مدى دقة الجهاز حيث تصل إلى مقدار عدة إنكسترومات وتستخدم هذه الطريقة في معايرة أجهزة القياس الاعتيادية الميكانيكية منها والإلكترونية. إضافة إلى قياس أجزاء أقلام وسكاكين القطع المستخدمة في أجهزة القطع والحفر الميكانيكية (المخرطة والمقشطة).



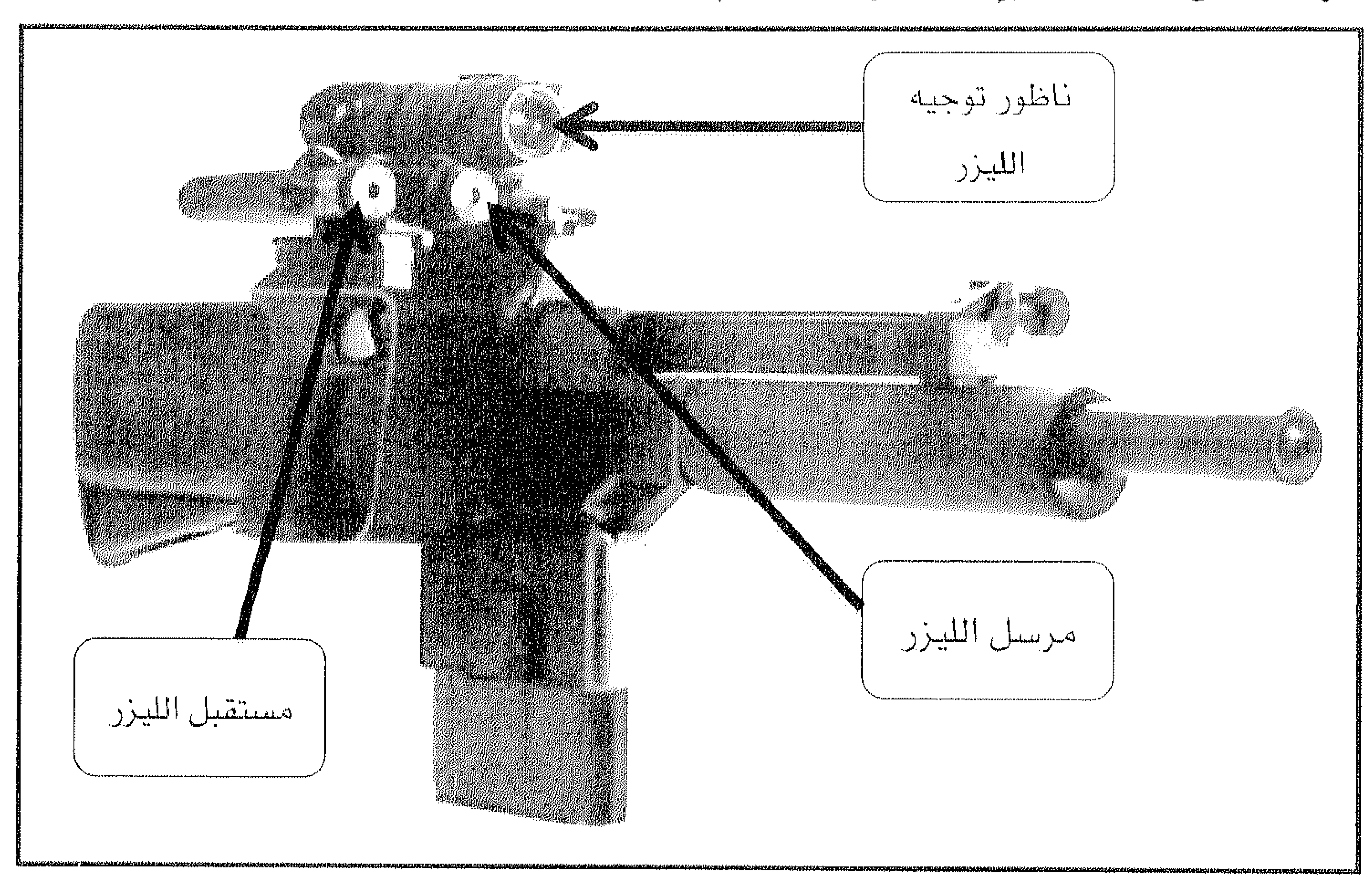
شكل (2) : مبدأ عمل جهاز قياس المسافات بالتداخل

ثانياً: القياس بإستعمال صدى النبضة

للمسافات البعيدة، لا يمكن إستعمال الطريقة السابقة لقصر طول التشاكه في الليزر لأنه مهما كبر طول التشاكه فأنه لا يتجاوز إلا بضعة كيلومترات لذا إستعمل مبدأ الصدى في القياس. وهذه الطريقة إستعملت لقياس المسافة بين أرض والقمر بخطأ لا يتجاوز بضعة أمتار كذلك تستخدم بكثرة في أعمال المساحة، ولقياس أبعاد الأهداف في ساحة المعركة.

يستخدم في هذه الطريقة ليزر نبضي يرسل نبضة تصطدم بالجسم المراد قياس بعده وتنعكس ثانية ويستلم الشعاع المنعكس بجهاز قرب الليزر، وتقاس الفترة الزمنية بين إطلاق نبضة الليزر حتى تسلمها بعد انعكاسها، ومن معرفة سرعة الضوء يمكن حساب المسافة، والجهاز يسمى بمقدرة المدى ويتركب كما في الشكل (3) من مرسلة ومستلمة حيث يستخدم ليزر النيوديوم/ الزجاج أو الياقوت النبضي ليرسل نبضة واحدة تصطدم بزجاجة تعكس جزء قليلاً منها باتجاه حلية ضوئية مرتبطة بعداد الكتروني يبدأ العمل عند اصطدام الشعاع

بالخلية والجزء الأكبر من النبضة يخرج من الجهاز باتجاه الجسم المراد قياس بعده ليصطدم به. هذا الجزء من الجهاز يسمى المرسلة (Transmitter) أما المستقبلة (Receiver) فتتكون من تلسكوب يعمل على تسلم الأشعة المنعكسة من الجسم ليجمعها ويوجهها نحو خلية ضوئية أخرى مرتبطة بالعداد أيضاً حيث تقوم بإرسال إشارة تعمل على إيقاف العداد. والعداد منظم بحيث يعطي قراءة للمسافة مباشرة (بالكيلومترات أو الأميال). تستخدم مقدرات المدى الليزرية لقياس أبعاد الأهداف بدقة وبذلك تزيد من دقة تصويب المدفعية والدروع والطائرات للأهداف المعادية ونظرية عملها تعتمد على مدى النبضة (كما ورد في طرق قياس المسافات بإستعمال مدى النبضة).

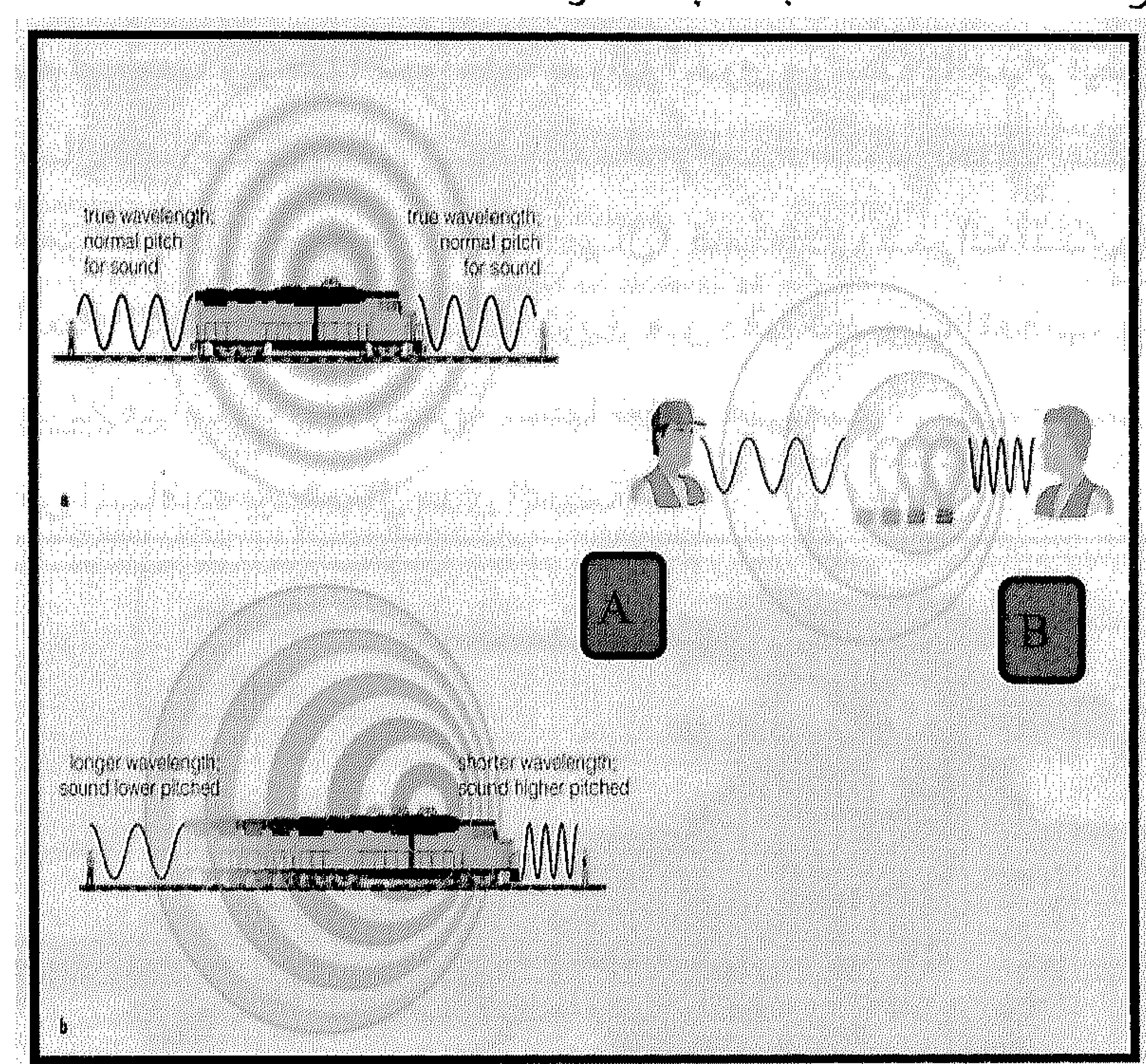


شكل(3) بندقية تحمل مقدرة مدى بالليزر

ثالثاً: القياس بإستعمال ظاهرة دوبلر

في حدود عام 1842م إكتشف دوبلر (Doppler) ظاهرة غريبة سميت فيما بعد باسمه حيث لاحظ دوبلر تغير لون الجسم المشع عند حركته نسبة للشخص المراقب وتغير اللون يعتمد على سرعة الجسم المتحرك واتجاه الحركة، وتغير

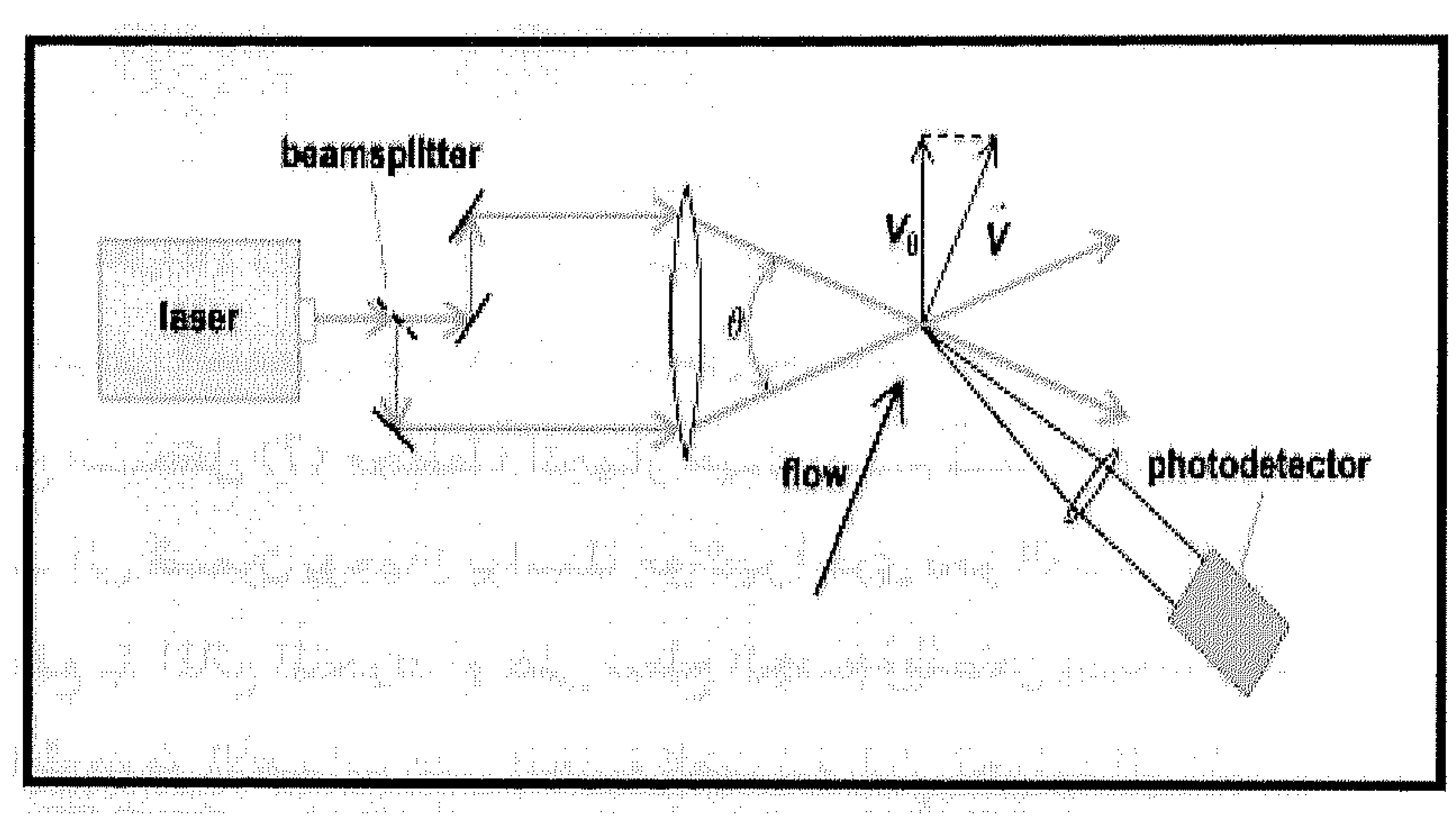
اللون يعني كما نعلم تغير الطول الموجي، هذه الظاهرة تنطبق على الصوت كما تنطبق على الضوء، والشكل (4) يوضح تأثير حركة مصدر الصوت لشخص مراقب وهذا ما حدث تماماً بالنسبة للضوء.



شكل(4): تأثير حركة مصدر الصوت لشخص مراقب وهذا ما حدث تماماً بالنسبة للضوء

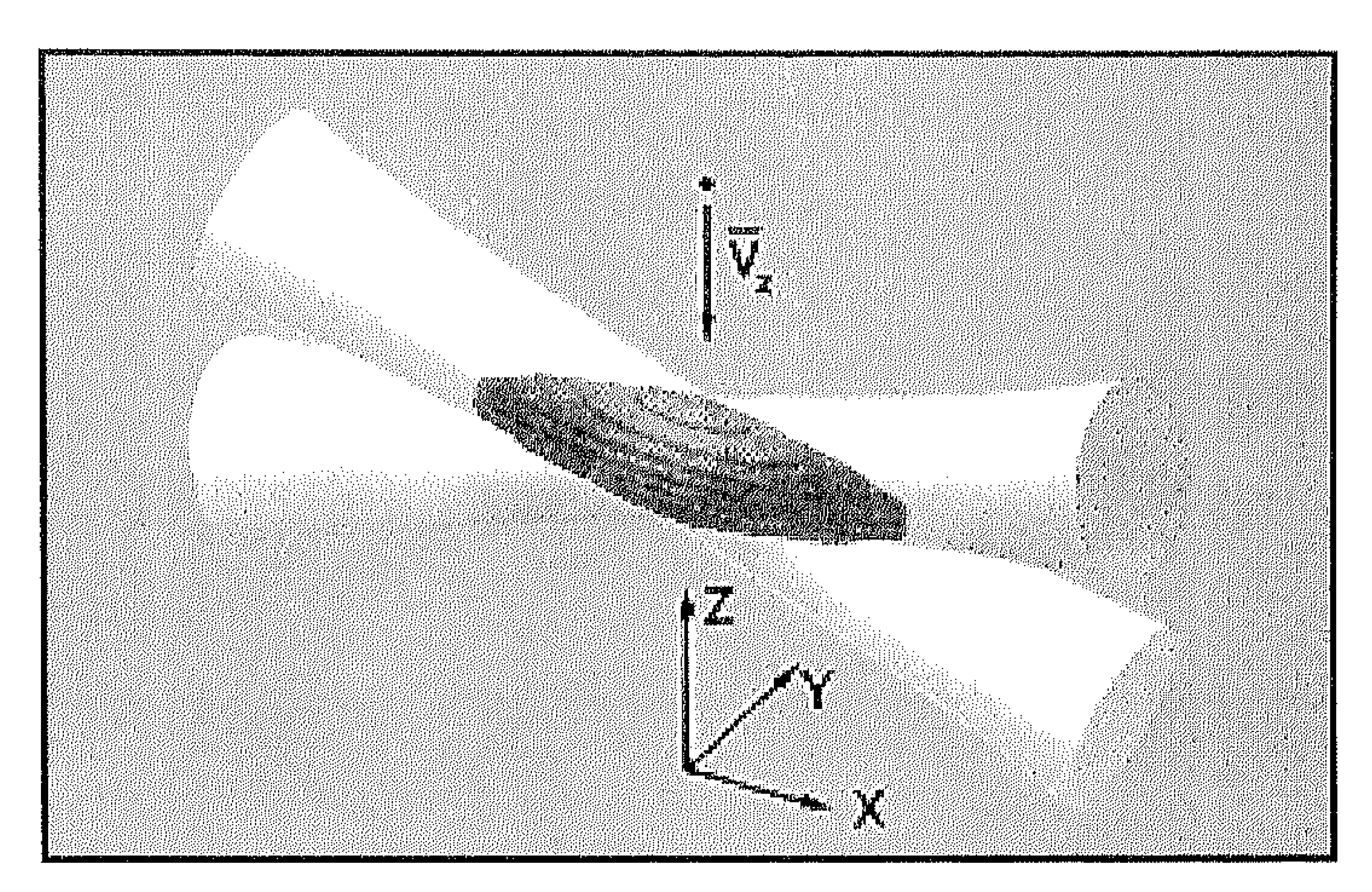
نلاحظ في الشكل (4) إذا ما كان الشخص المراقب يقف في النقطة (B) فأن التردد باتجاهه يزداد (عدد الأمواج في وحدة الطول يزداد) وإذا ما كان الشخص المراقب يقف في النقطة (A) فأن التردد باتجاهه يقل وذلك بعد ملاحظة أن مصدر الصوت يتحرك من (A) إلى (B). استعملت ظاهرة دوبلر منذ القرن التاسع عشر وما تزال تستخدم في دراسة حركة الأجرام السماوية. وذلك بدراسة الأطياف التي تبعثها وحركة هذه الأطياف في الطيف الكهرومغناطيسي فإذا ما كانت باتجاه الأطوال الموجية الطويلة (الأحمر – تحت الحمراء) فهذا يعني بأن

الجرم السماوي يبتعد هنا. وإذا ما كان باتجاه الأطوال الموجية القصيرة (البنفسجي – فرق البنفسجي) فهذا يعني بأن الجرم يقترب منا. هذه الظاهرة تستخدم الآن وبعد اكتشاف الليزر في قياس حركة الموائع (السوائل والغازات) والأجسام وذلك بقياس التغير في تردد الأشعة المنعكسة من الأجسام والموائع المتحركة وكما موضح في الشكل رقم (5) .



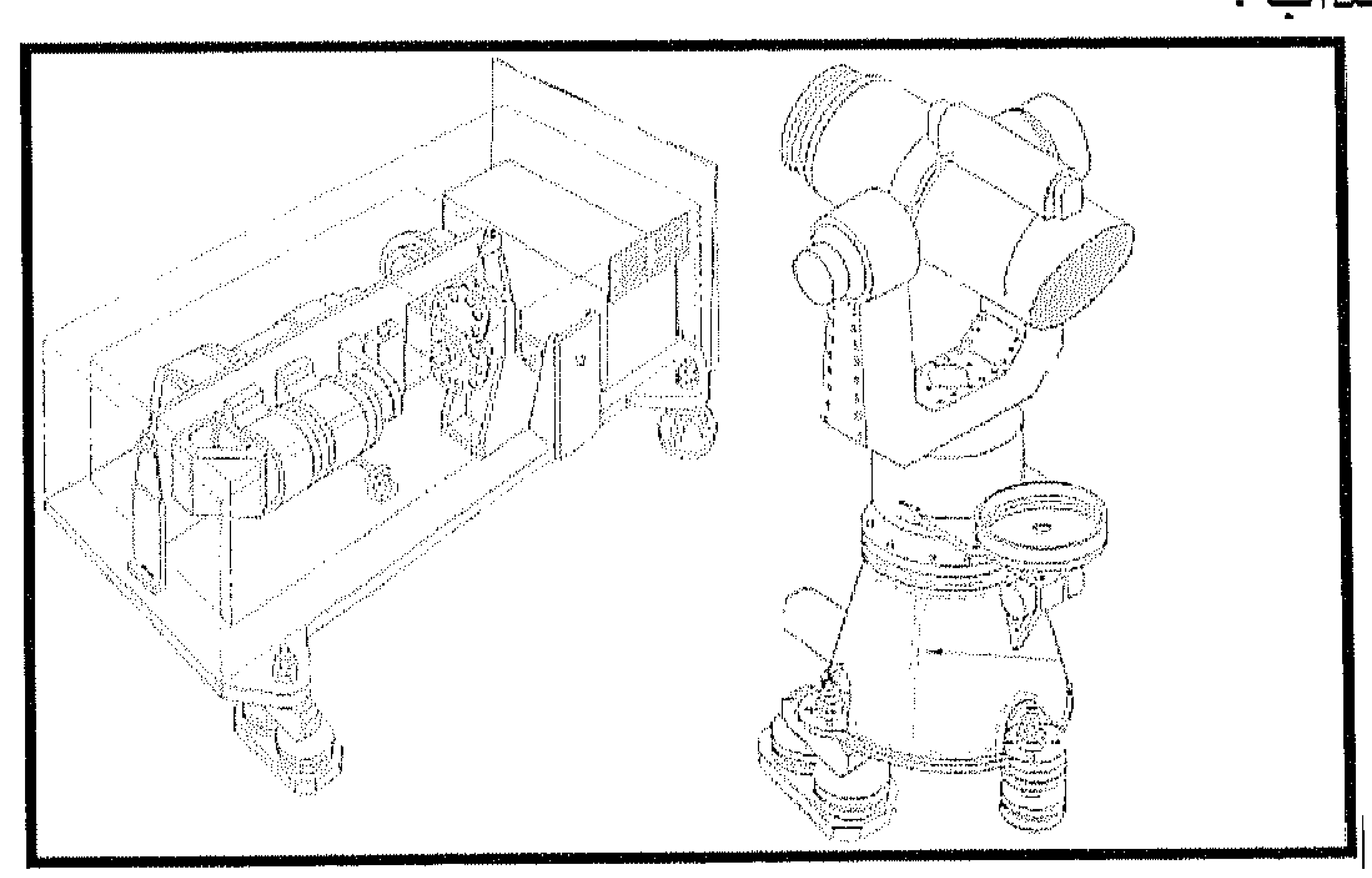
شكل(5) : مخطط جهاز يستخدم ظاهرة دوبلر في قياس سرعة مائع متحرك

إن حركة الموائع والأجسام مهما كبرت فأنه لا يمكن مقارنتها بتردد شعاع الليزر حيث تكون صغيرة جداً إذا ما قورنت به، وبذلك فأن تأثيرها في تردد الشعاع سيكون صغيراً جداً بحيث لا يمكن حسابه لذلك إستعمل تكنيك (طريقة) جمع شعاعين في نقطة المائع المتحرك أو على سطح الجسم المتحرك وناتج جمع الشعاعين هو هدب تداخل مكون من خطوط سوداء وأخرى بيضاء ويمثل عدد الخطوط في وحدة الطول تردد الهداب وهذا التردد يكون صغيراً جداً مقارنة مع تردد الضوء ومقارباً لتأثير حركة الجسم وبقياس هذا التردد والتغير الحاصل فيه نتيجة حركة المائع أو الجسم يمكن معرفة سرعة المائع أو الجسم وكما موضح في الشكل رقم (6) .



شكل(6) : أهداب التداخل تظهر بوضوح عند نقطة التقاء الشعاعين

لغرض الحصول على هداب تداخل يجب أن يكون الشعاعان لليزر نفسه ويوضح الشكل (7) مخططاً للجهاز حيث يقسم شعاع الليزر بواسطة موشور مكعب إلى قسمين يوجهان بواسطة مواشير أخرى نحو العدسة التي تركزها في نقطة تقع في المائع المتحرك أو على سطح الجسم ويمكن إستعمال العدسة نفسها لإسقاط صور الأهداب على الخلية الضوئية التي تحولها إلى إشارة كهربائية يمكن قياسها ، كذلك يمكن وضع جهاز الاستلام في الجهة المقابلة لاستلام صورة الأهداب .



شكل(7) :مقطع في جهاز قياس دوبلر

تكون إنعكاسية الموائع قليلة جداً للأشعة الساقطة عليها ولزيادة ذلك توضع في المائع قطع صغيرة جداً من مادة عاكسة مثل برادة الألمنيوم الخفيفة الوزن والتي لا تؤثر في حركة المائع وتسمى قطع البرادة الصغيرة "البذور" وتسمى هذه الظاهرة بالتبذير (Seeding) .

تردد دوبلر (هو تغيير التردد) (*frequency change*) ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$f.\,change = \frac{2 \times v}{L} \times \sin\frac{\theta}{2}$$

حيث :

v= سرعة المائع أو الجسم .

L= طول موجة الليزر .

$\frac{\theta}{2}$ = نصف الزاوية بين الشعاعين.

ويمكن استعمال الظاهرة نفسها لقياس سرعة تذبذب جسم مهتز (أي تردد جسم مهتز) حيث يقسم شعاع الليزر إلى قسمين كما في الطريقة الأولى يوجه احدهما نحو الخلية الضوئية مباشرة والآخر نحو الجسم المهتز لينعكس منه ويوجه الجزء المنعكس نحو الخلية الضوئية أيضاً بعد أن يمر بجهاز صغير يقوم بتحميل تردد معين (أقل من تردد الضوء) على الشعاع ليكون هذا التردد هو أساس المقارنة ويعتمد حساب تردد الجسم المهتز أساساً على التغير في التردد المحمل على شعاع الليزر وليس على التغير في شعاع الليزر ذاته (للسبب نفسه في الطريقة الأولى حيث تردد الشعاع الليزر عال جداً) وسرعة التذبذب (s) تحسب من المعادلة التالية:

$$\mathbf{f.\,change} = \frac{\Xi * s}{L}$$

تتميز طريقة دوبلر عن الطرق الاعتيادية بما يلي:

1- لا توجد أجزاء ميكانيكية متحركة مؤثرة في نتائج القياس.

2- لا تحتاج إلى إدخال مجس إلى داخل المائع المتحرك وبذلك لا تؤثر في حركة المائع.

3- يمكن دراسة حركة كل جزء من المائع على حدة (في حالة الحركة غير المتجانسة).

4- لا تحتاج إلى وضع مجس على سطح المتذبذب لقياس تذبذبه وبذلك يبقى يتذبذب بحرية.

5- الدقة عالية جداً.

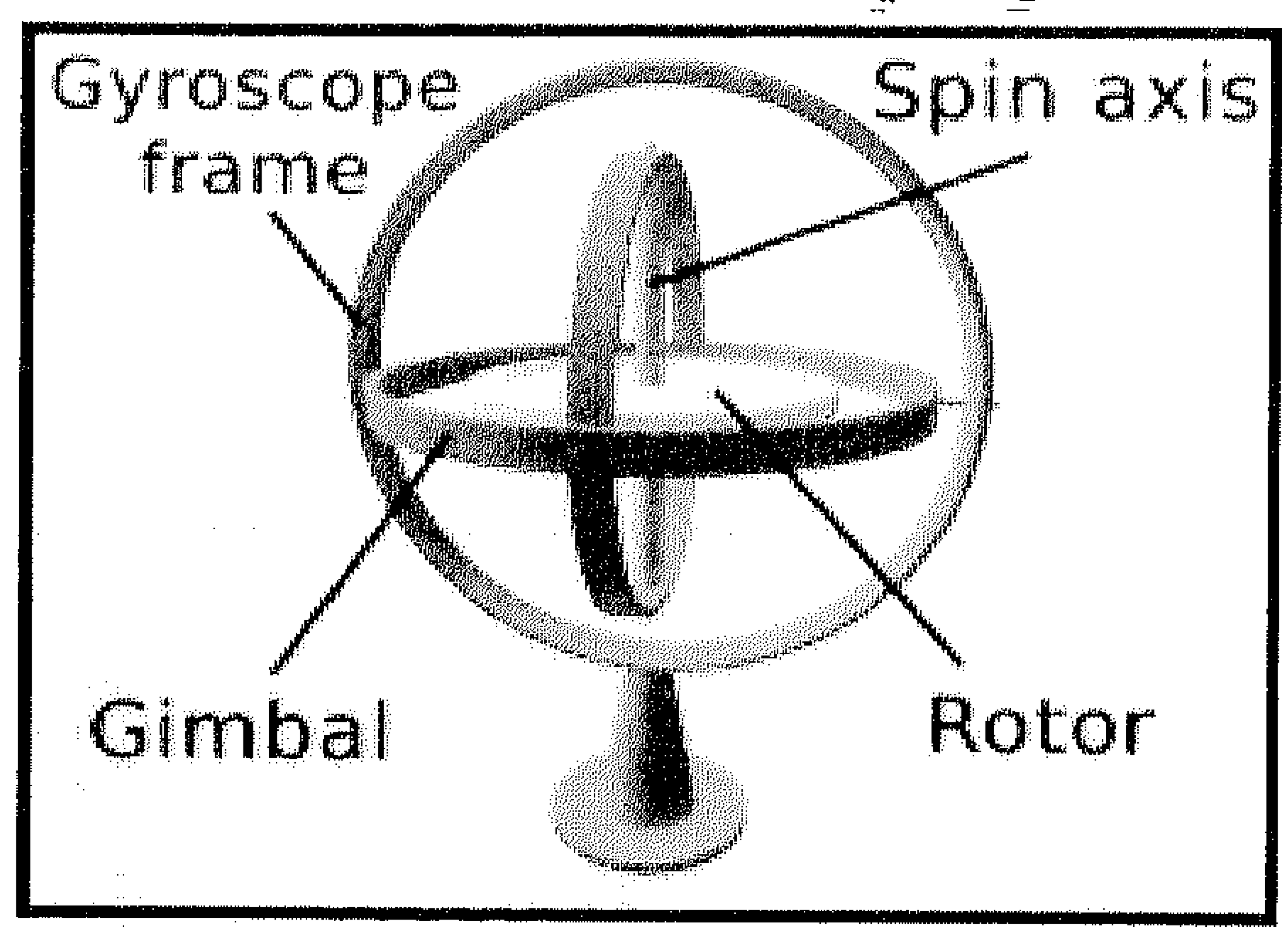
6- الإشارة المأخوذة من الخلية الكهربائية يمكن نقلها إلى جهاز إلكتروني بحيث نحصل على النتائج على شكل أرقام مباشرة.

رابعاً: قياس سرعة الدوران

تقاس سرعة الدوران لمنظومة نسبة إلى أخرى بجهاز يسمى الجايروسكوب والجايروسكوب هو جهاز ميكانيكي، شكل (8) ويتكون من جزء دوار في المركز يدور بسرعة عالية (عدة آلاف الدورات/ الدقيقة) مرتكز على محاور هي الأخرى مثبتة على محاور أخرى. ودقة الجهاز تعتمد على سرعة دوران المركز ويستخدم الجهاز في الملاحة الجوية والبحرية من طائرات وغواصات وبواخر ومركبات فضائية وغيرها، وتوجيه جميع المركبات يتم بواسطة هذا الجهاز.

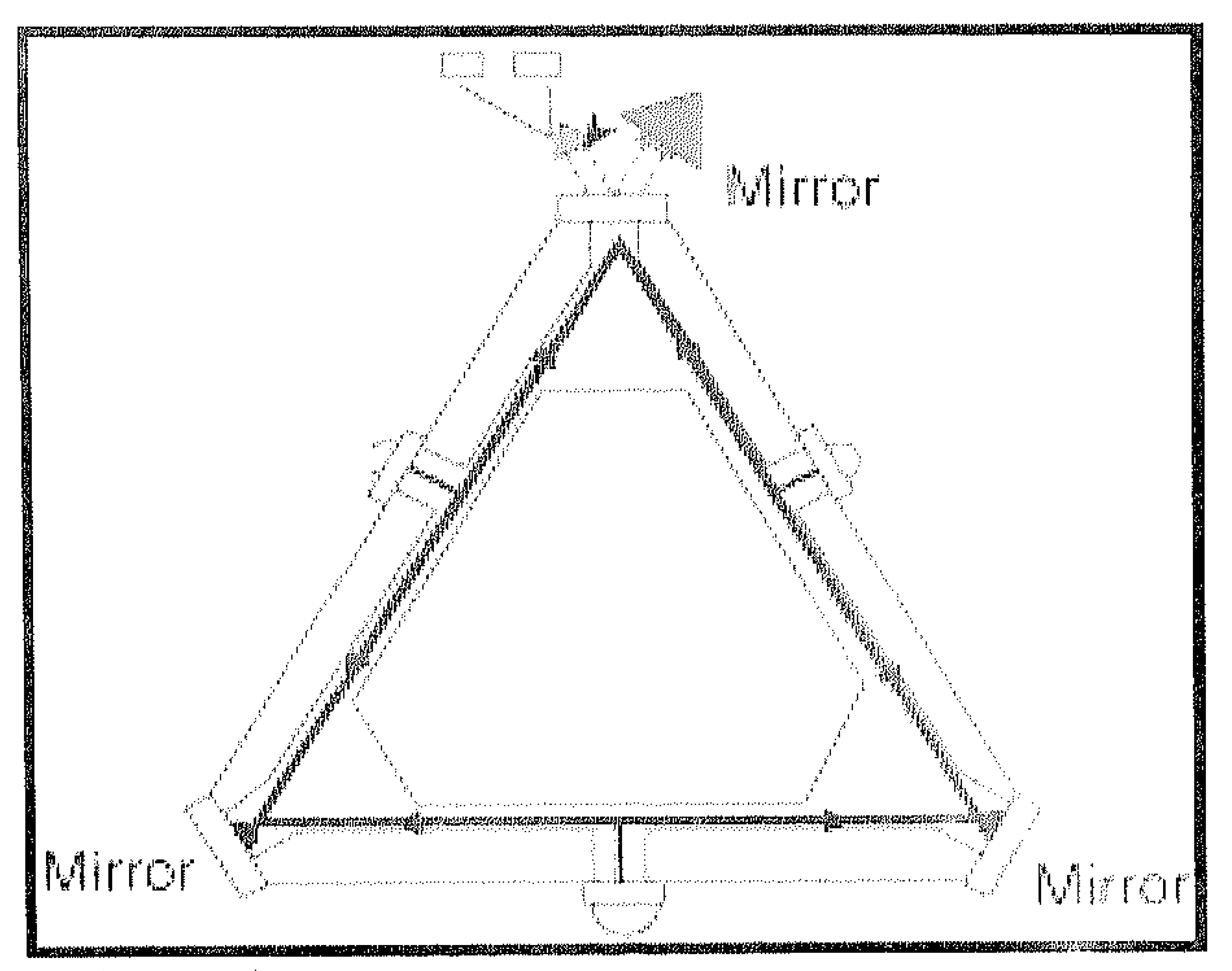
في السنوات الأخيرة إستعمل الليزر في عمل الجايروسكوب وكانت النتائج مذهلة لأن الجزء المتحرك في الجايروسكوب ما هو إلا شعاع الليزر الذي يسير بسرعة (300,000 كم/ثا) أي إذا كان طول مساره متراً واحداً فأنه يدور (300 مليون) دورة في الثانية الواحدة وهذه تعادل ملايين المرات لسرعة الجزء الدوار في الجايروسكوب الميكانيكي أي دقته تزيد بملايين المرات ويرتكب الجايروسكوب الليزري أساساً من ليزر حلقي ويكون أما على شكل مثلث أو

مربع حيث أن هناك شعاعي ليزر يسيران باتجاهين متعاكسين وطول المسار (المحيطة) يكون عدداً صحيحاً من أنصاف الأطوال الموجية لليزر المستخدم حيث أن أي تغير في طول المحيط يؤدي إلى تغير في التردد فإذا ما أخذت الحلقة بالدوران حول محور يمر بمنتصفها وعمودياً على مستويها نحصل على فرق بين مساري شعاعي الليزر، فالشعاع الذي يسير باتجاه الدوران سيقطع مسافة أطول من المسافة التي يقطعها الشعاع الذي يسير بعكس اتجاه الدوران.

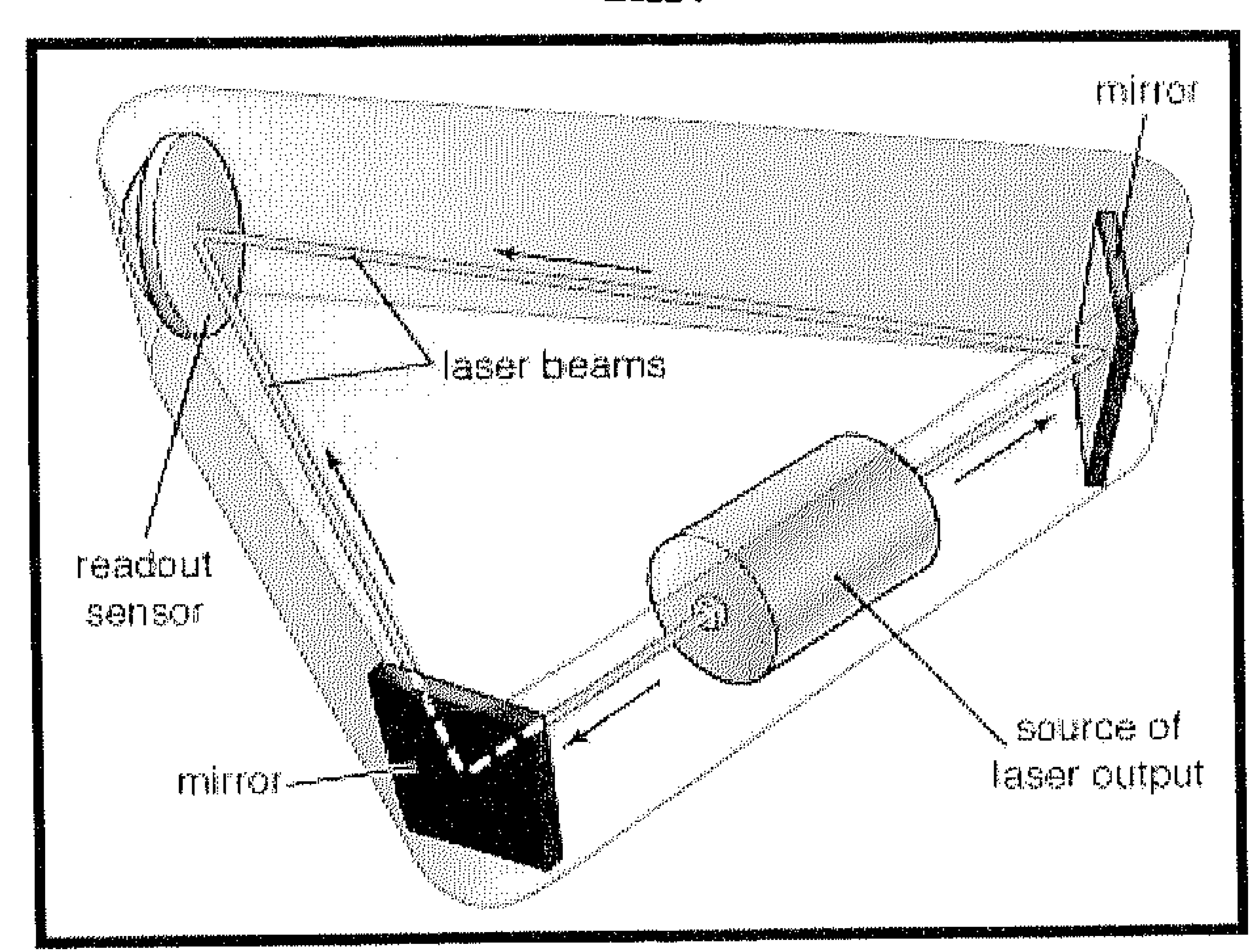


شكل(8) :جايروسكوب ميكانيكي بسيط

وشكل (9) يوضح مخططاً لجايرسكوب ليزري مثلث الأضلاع. نلاحظ أنه إستعمل وسط فعال في كل ضلع من أضلاع المثلث (يمكن إستعمال وسطاً فعالاً واحد فقط) ووضعت المرايا العاكسة في زواياه، وبذلك يمثل المثلث بأكمله المرنان.



شكل(9) :مخطط يمثل جايروسكوباً ليزرياً مثلثاً



شكل10) : مخطط عمل الجايروسكوب الليزري

نلاحظ في الشكل (10) مخطط لتحليل عمل الجايروسكوب الليزري حيث نفترض بأن شعاع الليزر انبعث من النقطة (أ) ليأخذ مساره حول محيط المثلث في هذه الأثناء تكون النقطة (أ) قد تحركت مسافة قصيرة مقدارها (x).

والوقت الذي يستغرقه شعاع الليزر ليقطع محيط المثلث ويعود إلى النقطة (a) مرة أخرى هو (t).

الزمن(t) = المسافة (distance) \ السرعة (velocity)

$$t = \frac{p}{v}$$

حيث:

P: المحيط .

$$t = \frac{3 \times y}{v}$$

حيث :

y = طول ضلع المثلث .

v = سرعة الضوء.

والمسافة التي تحركها النقطة (a) في هذا الوقت (t) هي، (x).

$$x = v^{\circ} \times t \times z$$

حيث :

v^{o}= السرعة الزاوية للدورات .

z = المسافة بين رأس المثلث ومركزه.

والتغير في المحيط نتيجة الدورات هو $p\Delta$.

$$z = \sqrt{3}\,\frac{y}{2}$$

$$p = v \times d \times t \times \frac{z}{2} = \sqrt{3} \times v \times d \times \frac{y}{2v}$$

مساحة المثلث (A) . $A = \sqrt{3}\frac{y}{4}$

$$\Delta p = 4 * v^{\circ} * \frac{A}{L \equiv}$$

$$v^{\circ} = \frac{0.1}{60 * 60}$$

$$A = \frac{1}{2} \times base \times height$$

وبذلك يكون:

$$\Delta p = 2v * \frac{A}{\equiv}$$

في الليزر كما نعلم هناك أمواج واقفة Standing waves أي طول المسار (p) يجب أن يساوي عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية (w).

$$p = w \times L$$

$$\Delta L = \frac{\Delta p}{w}$$

$$\Delta L = \frac{\Delta p * L}{\equiv}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta f}{f}$$

حيث:

f= تردد الشعاع.

إذن كل مسار يعاني تغيراً في طوله الموجي مقداره($\Delta L/L$). إذن التغير الكلي الحاصل يساوي مجموع التغير للمسارين أي يساوي:

$$\Delta - \frac{2\Delta L}{L}$$

$$\Rightarrow \Delta = \Delta f = 2f \times \frac{\Delta p}{p} = 4 \times v^{\circ} \times \frac{A}{L \times p}$$

إذن دقة الجايروسكوب تزداد بازدياد مساحته وصغر محيطه (أفضل شكل هندسي لذلك هو المثلث).

مثال

جايروسكوب يستخدم ليزر الهليوم نيون (L = 6280 انكستروم) بطول ضلع (10 cm) دار حول محوره بسرعة زاوية مقدارها (0.1 زاوية قطرية/ ساعة) (هذه الحركة لا يمكن إطلاقاً التحسس بها بإستعمال الجايروسكوب الإعتيادي). ما هو التغير الحاصل؟

الحل:

$$\Delta = 4 \times v^{\circ} \times \frac{A}{L \times p}$$

$$v^{\circ} = \frac{0.1}{60 * 60}$$

$$A = \frac{1}{2} \times base \times height$$

$$A = \frac{\sqrt{3}}{2} \times y = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$A = 50 \times \sqrt{3}$$

$$= \frac{4 * 0.1 * 50 * \sqrt{3}}{3600 * 6280 * 30 * 10} = 2.5 \quad \frac{\text{ذبذبة}}{\text{ثانية}} \text{ (هيرتز)}$$

هذا التردد يمكن التحسس به بإستعمال أبسط أنواع الأجهزة مثل الاوسلسكوب أو العداد الإلكتروني وبهذه الطريقة تمكنا من التحسس بحركة صغيرة جداً.

خامساً : قياس أقطار الأسلاك

يستخدم الليزر لقياس أقطار الأسلاك الدقيقة جداً وبدقة عالية (إنظر شكل رقم (11) وذلك بملاحظة شكل الحيود الذي ترسمه هذه الأسلاك عند وضعها أما شعاع الليزر حيث شكل الحيود لسلك دقيق أما شعاع ليزر يتكون من خط من النقاط المضيئة إذ أن المسافات بين النقاط تتغير عكسياً مع قطر السلك (r)، حسب القانون التالي :

$$\sin\theta = \frac{L \times a}{diameter}$$

حيث:

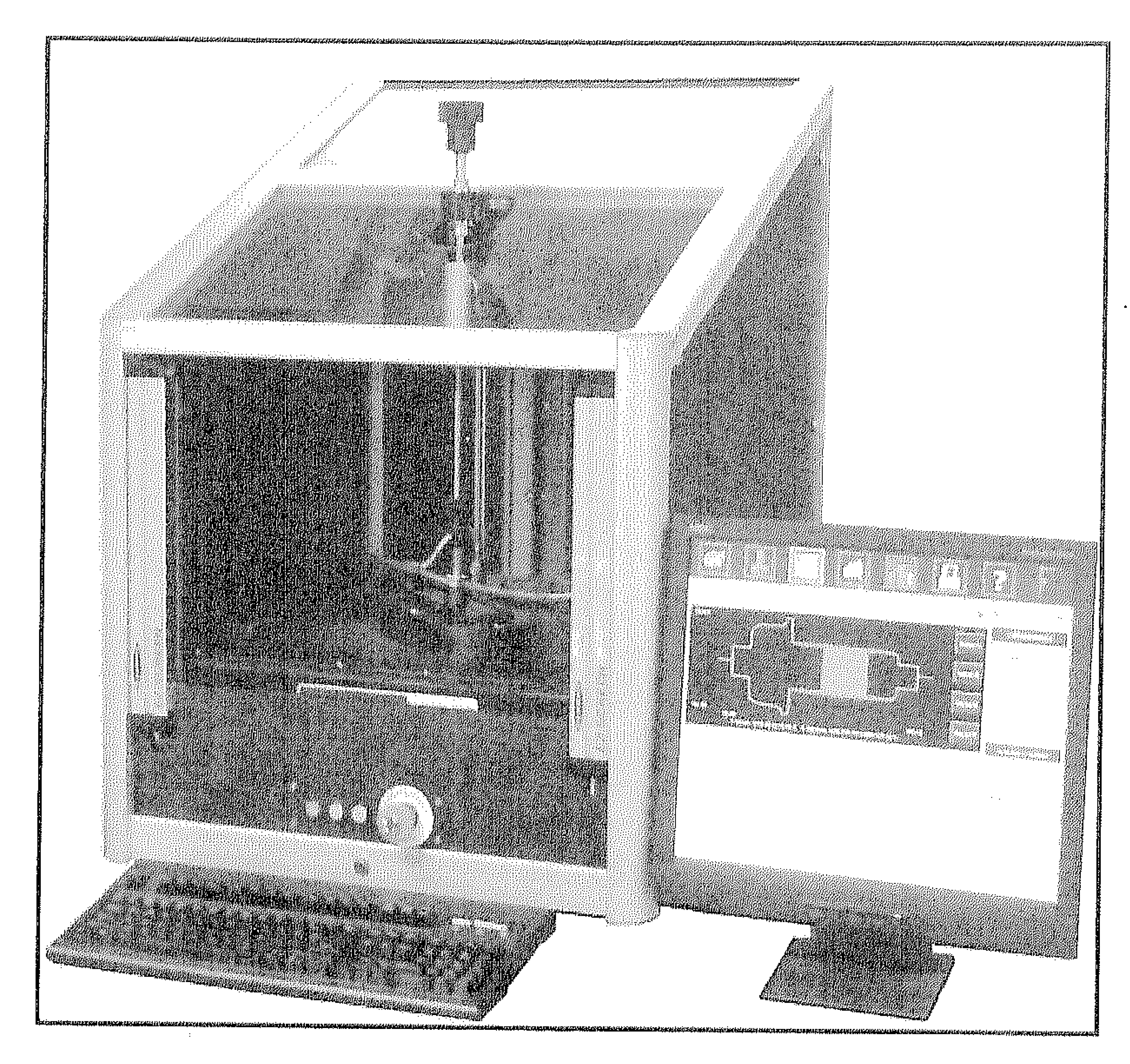
($\bar{}$) هي الزاوية مع النقطة a.

$$\sin\theta = \frac{v}{x}$$

ومن قياس (v) و(x) يمكن حساب (القطر *diameter*).

$$\frac{v}{x} = \frac{L \times a}{diameter}$$

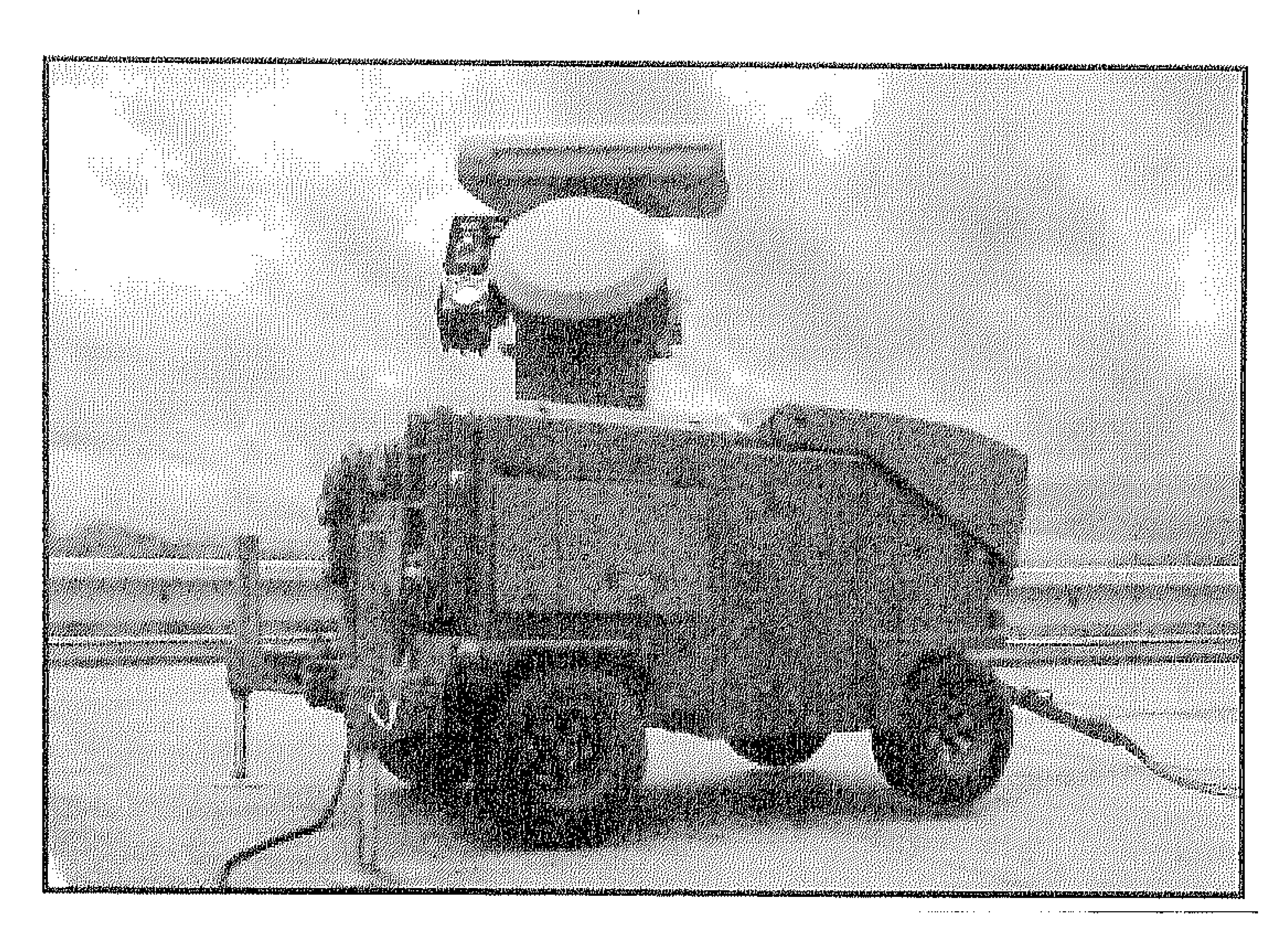
تستخدم هذه الطريقة في يقاس أقطار أسلاك بحدود(0.00025 cm) وبخطأ ولا يتجاوز (0.5 ٪).



شكل(11) جهاز ليزر لقياس الاقطار

سادساً : القياس بواسطة الرادار الليزري

الرادار الليزري يشابه في عمله الرادار الاعتيادي ما عدا كونه يستخدم شعاع الليزر بدلا من ألأمواج الراديوية حيث يصطدم بالجسم ثم يعكس ثانية ليستلم بواسطة تلسكوب خاص ويوجه نحو خلية ضوئية ومن ثم تنتقل الإشارة الكهربائية الناتجة إلى الأجهزة الإلكترونية لإظهارها. ويستخدم الرادار الليزري إضافة لقياس الأجسام الكبيرة وأبعادها في دراسة التلوث في الجو وقياس كمية الغبار والدخان الذي تنفثه المصانع والمعامل ومن ميزات الرادار والليزري إمكانية توجيهه على طبقة معينة من الطبقات الجوية دون غيرها وتحديد ارتفاع ومكان الطبقة المراد دراستها بدقة والشكل (12) يمثل رادار ليزري محمول.

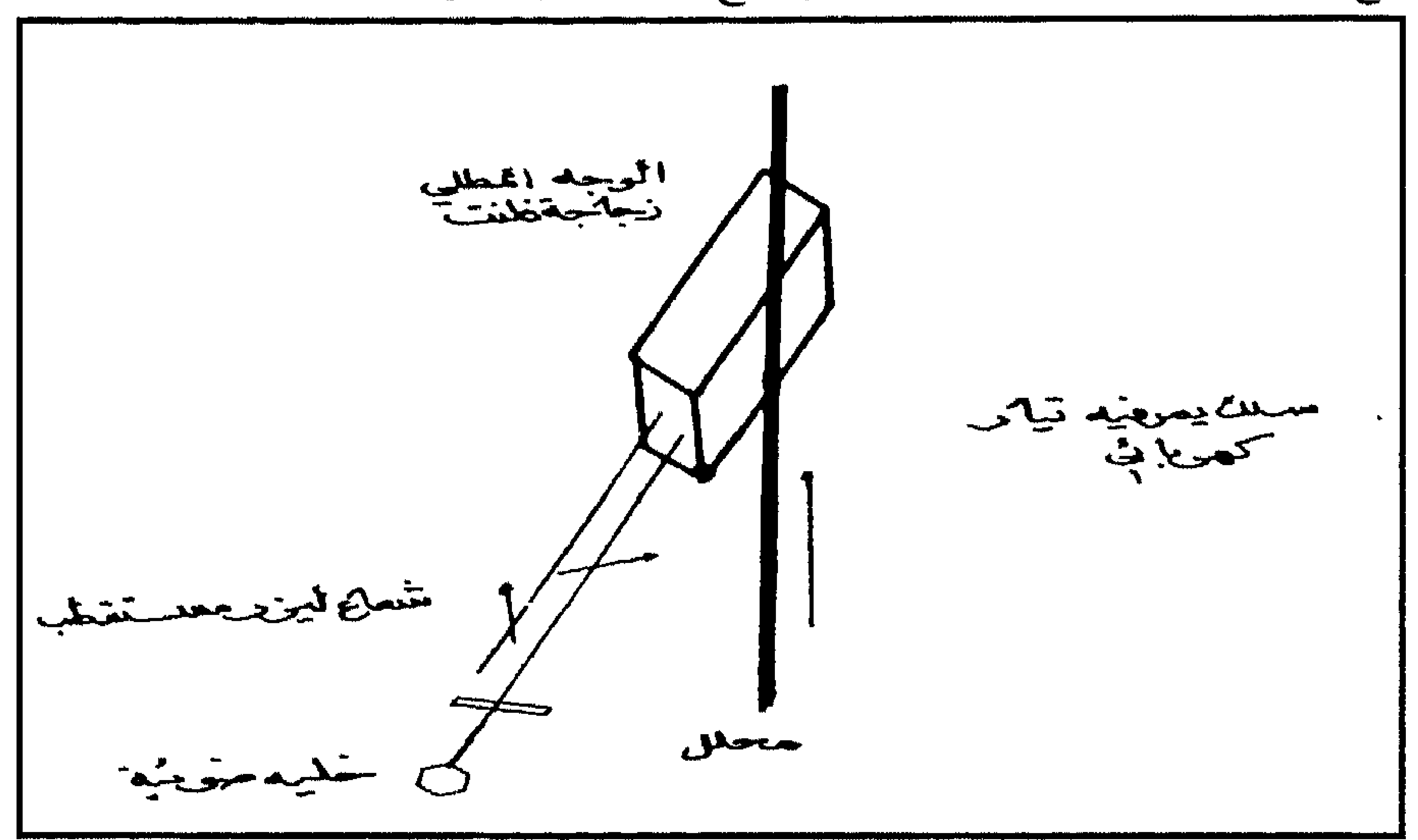


شكل(12) يمثل رادار ليزري محمول

سابعاً: إستعمال الليزر في قياس التيار والجهد العالي

يستخدم جهاز الفولتميتر لقياس الفولتية (فرق الجهد) ويستخدم جهاز الاميتر لقياس التيار في الدوائر الكهربائية وفي حالة إستعمال أي من الجهازين نحتاج إلى إيصاله بالدائرة الكهربائية وفي حالة وجود فرق جهد عال أو تيار عال يكون إستعمال هذين الجهازين ذا خطورة بالغة. وفّر لنا الليزر وفرَّ لنا طريقة دقيقة وسليمة للقياس دون الحاجة إلى التماس بالدائرة الكهربائية بل فقط بتقريب جزء من الجهاز من أحد أجزاء الدائرة ليعطي الجهاز القراءة المطلوبة وبدقة عالية والجهاز يتكون أساساً من قطعة من الزجاج على شكل متوازي المستطيلات يطلى أحد أوجهها ليصبح عاكسة للأشعة يوجد شعاع ليزر مستقطب من الوجه المقابل للوجه العاكس ليدخل داخل الزجاج وينعكس من الوجه العاكس ويخرج ثانية من الوجه المقابل والزجاج المستخدم هو نوع خاص يسمى فلنت Flint. هذا الزجاج تتأثر خواصه الضوئية بالمجالات المغناطيسية حيث يبدأ اتجاه الاستقطاب بالدوران بزاوية مقدارها (هـ) تتناسب طردياً مع شدة المجال، فعند تقريب قطعة الزجاج هذه من سلك فيه تيار كهربائي عال نحصل

على انحراف في زاوية الاستقطاب (حيث نعلم بأن مرور أي تيار كهربائي في سلك يولد حوله مجالاً مغناطيسياً) وتتناسب هذه الزاوية مع شدة التيار ومن قياس الزاوية يمكن قياس مقدار التيار المار في السلك وكذلك مقدار فرق الجهد في الدائرة الكهربائية والشكل (13) يوضح مخططاً للجهاز. وقياس الزاوية يتم بوضع مستقطب آخر كمحلل للضوء مع المستقطب الأول.



شكل(13) قياس التيار الكهربائي بواسطة الليزر

ليس زجاج فلنت فقط هو الذي تتأثر خواصه الضوئية بالمجالات المغناطيسية بل هناك الكثير من المواد (الجدول (1)) ويستخدم زجاج فلنت لتوفره ولكبر معامل الانحراف له.

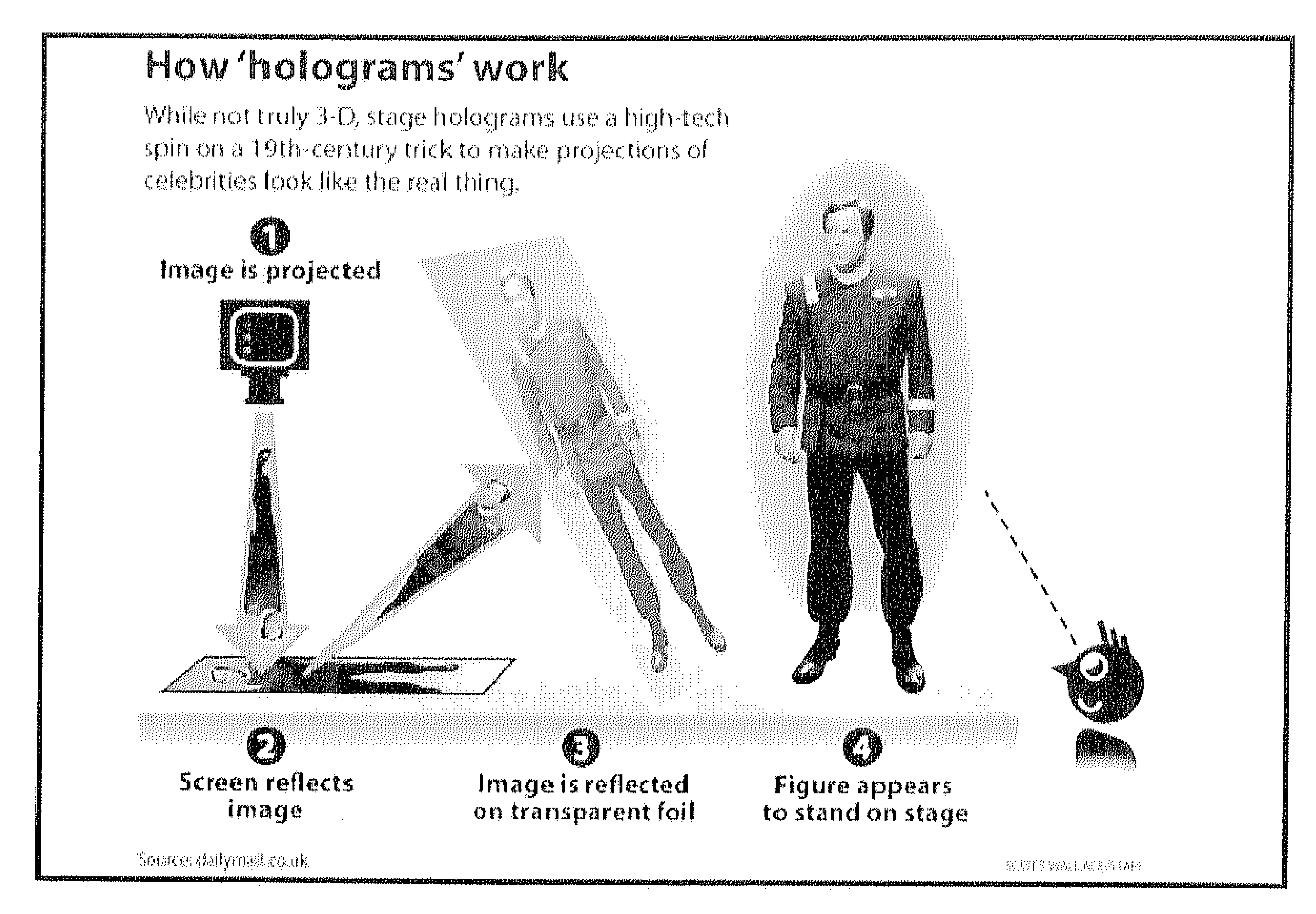
الجدول (1)

المادة	معامل الانحراف
الماء	0.0131
الزجاج	0.0161
زجاج فلنت	0.0317
الكوارتز	0.0166

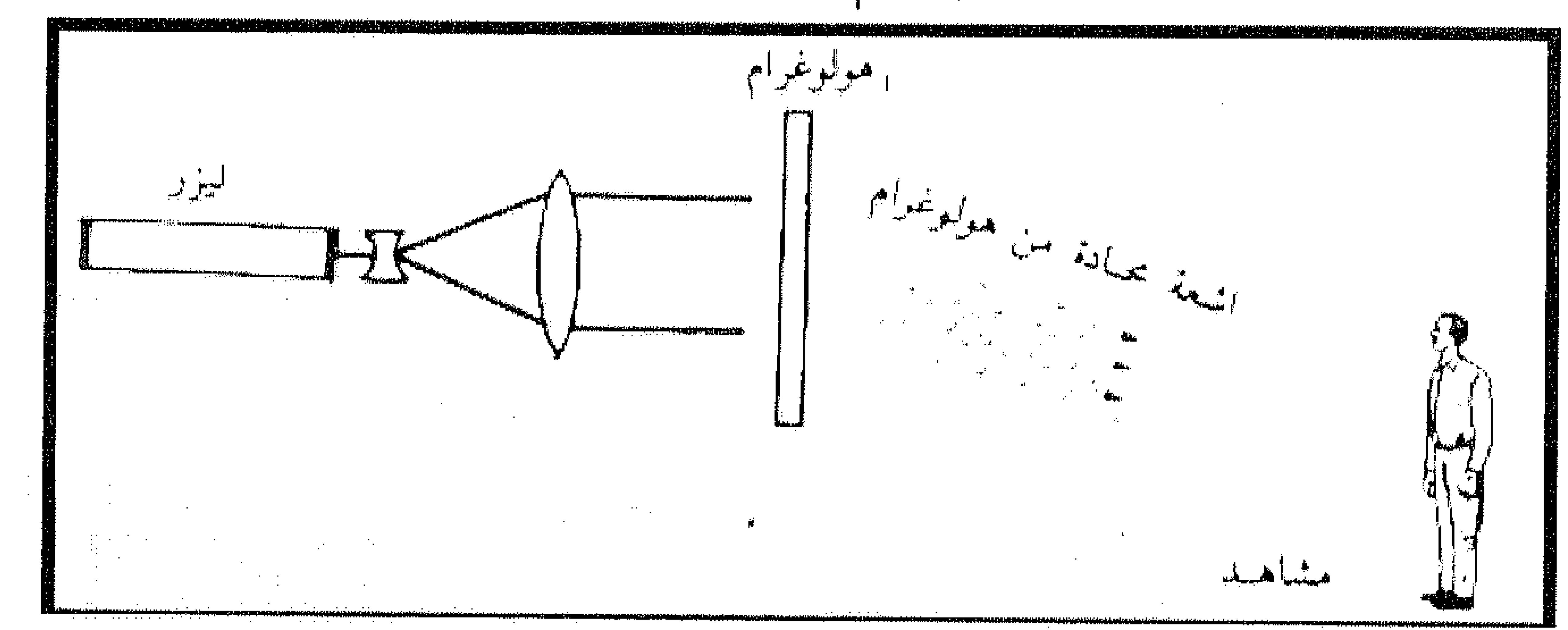
ثامناً : القياس بواسطة الهولوغرافي

الهولوغرافي (Holography) ما هو إلا تكنيك جديد في التصوير الفوتوغرافي، إذ نحصل منه على أشكال (صور) أكثر حيوية مما نحصل عليه من عملية التصوير المستخدمة للكاميرة الاعتيادية، حيث يتم في الهولوغرافي تسجيل الطور إضافة إلى السعة، في حين تتم في التصوير الاعتيادي عملية تسجيل السعة للأشعة الضوئية فقط. وكما سنلاحظ فأن هذا الفرق سيقودنا للتعرف على خصائص الأشكال التي نحصل عليها في الهولوغرافي. سنوضح في هذا الفصل كيف يصور الهولوغرام، وكيف نحصل على الصور والأشكال منه، ومن ثم سنتطرق إلى بعض تطبيقاته في المجالات الصناعية والعلمية.

ويمكن أن نوضح كيفية عمل الهولوغرافي كالتالي : نلاحظ في الشكل (14) جسماً مضاء بشعاع ليزر متشاكه، ونشاهد الجسم بعد أن ترتكز عدسة العين الأشعة المنعكسة منه لتكون صورة (شبحاً) للجسم على شبكية العين. وبالطريقة نفسها يمكن تكوين صورة للجسم على اللوح الحساس (الفلم) بإستعمال الكاميرة، والصورة الناتجة ما هي إلا تسجيل لمعلومات – جزء من المعلومات – عن الجسم، والتي يتضمنها الشعاع المنعكس منه. ويسجل اللوح الفوتوغرافي المعلومات التي تمثل سعة الموجات الضوئية المنعكسة من الجسم. من جانب آخر يسجل الهولوغرام المعلومات الكاملة التي يحتويها الشعاع المنعكس عن الجسم، فنحصل من الهولوغرام على الموجات الضوئية نفسها. التي نحصل عليها من الجسم، كما نلاحظ ذلك في الشكل (15)، حيث يضئ شعاع الليزر الهولوغرام من الجهة الخلفية له، وبذلك يصدر الهولوغرام موجات متشابهة لتلك التي يصدرها الجسم باتجاهنا تماماً، وبذلك نشاهد صورة الجسم بأبعادها الثلاثة، وكذلك يمكن مشاهدته من زوايا مختلفة.



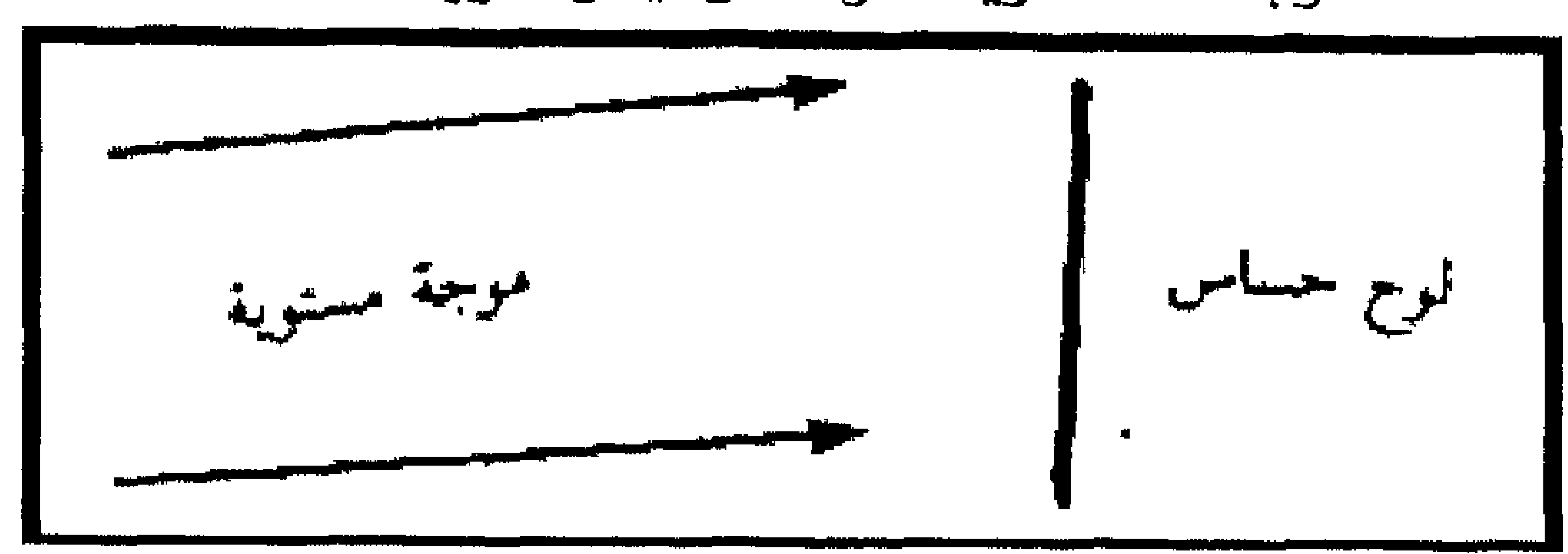
شكل (14) :تشاهد الأجسام نتيجة انعكاس الأشعة الضوئية عنها



شكل (15) إذا ما أضيء الهولوغرام بشعاع ليزر فإن الموجات الضوئية التي تصلنا تكون مشابهة لتلك التي تصلنا لو كانت لجسم حقيقي

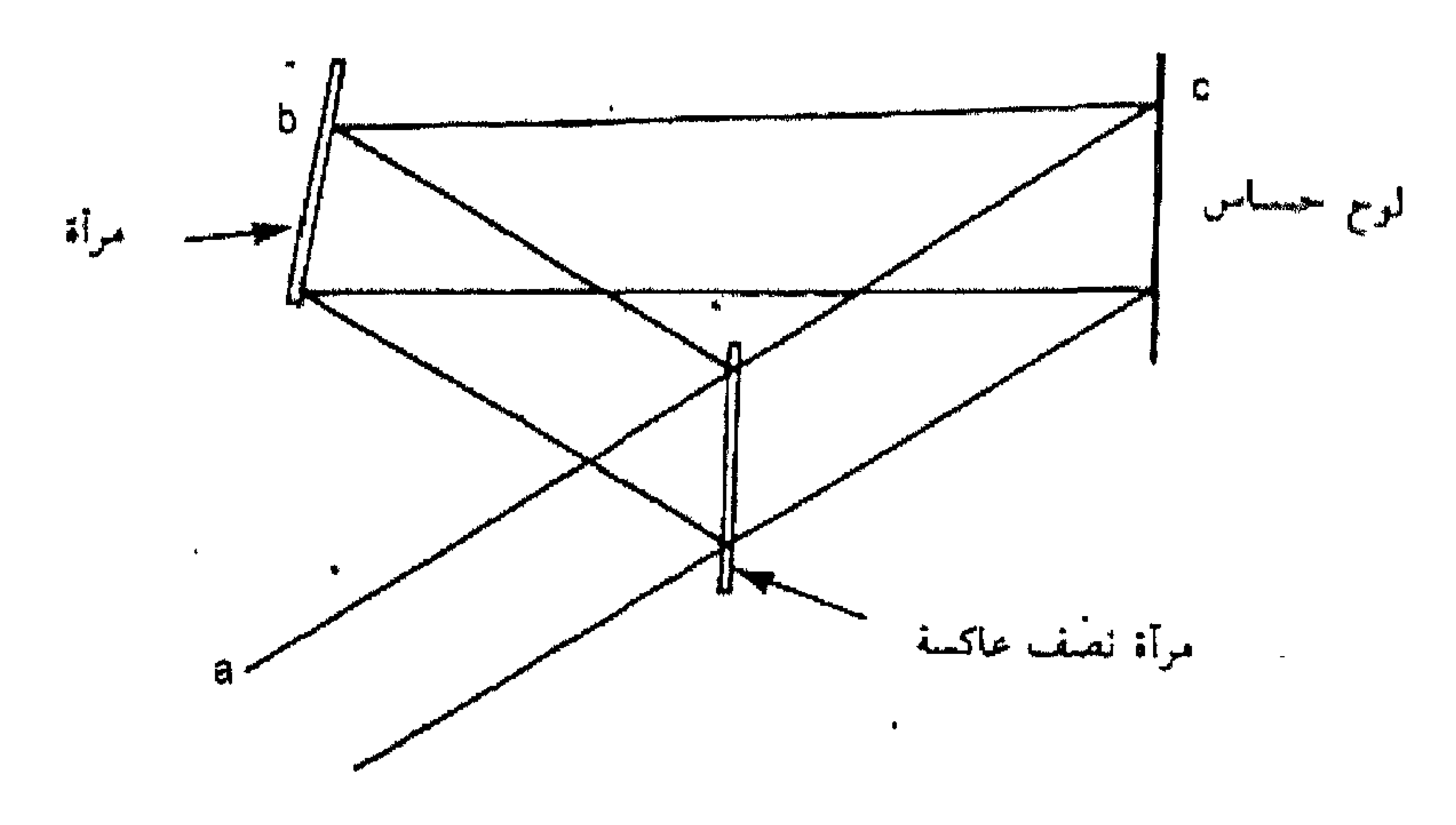
كيف يتكون الهولوغرام؟ وكيف يمكن له أن يسجل ومن ثم يعرض كلاً من السعة والطور للموجات الضوئية. ليس من الصعب تسجيل سعة الموجات الضوئية، إذ يتم ذلك في عملية التصوير الاعتيادية، كما نلاحظها في الشكل (16)، حيث هناك لوح فوتوغرافي يعرض إلى موجة مستوية. ماذا يحصل للوح بعد إجراء عمليات المعالجة الكيمياوية له؟. بطبيعة الحال ستحول إلى لوح أسود

اللون، وتعتمد درجة اسوداده على شدة الأشعة الساقطة. وبذلك نكون قد سجلنا شدة هذه الأشعة (الموجات المستوية)، ولكن ليس طورها.



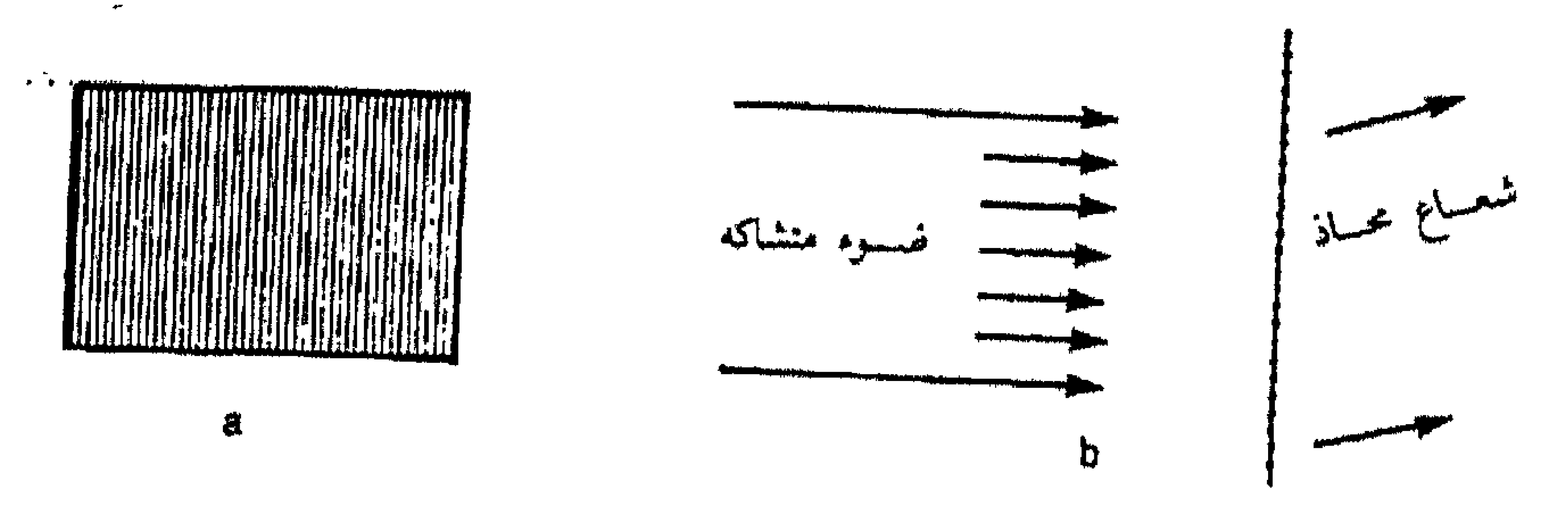
شكل (16) إذا ما تعرض لوح حساس إلى موجة مستوية، فإنه يتحول إلى لوح أسود اللون، وبذلك يكون سجل سعة الموجة المستوية

تستخدم ظاهرة التداخل لتسجيل طور الموجات. فللحصول على هولوغرام يجب تسجيل طور الموجات إضافة إلى سعاتها، وذلك يتطلب إضافة مرآتين أحداهما نصف عاكسة وأخرى عاكسة كلياً إلى المنظومة المبينة في الشكل (16) لتصبح بالشكل المبين في الشكل (17)، إذ تنقسم الموجة الساقطة لينعكس جزء منها من على المرآة ويسقط على اللوح الحساس ليضاف إلى الموجة الساقطة مباشرة على اللوح الحساس، لنحصل على تداخل بين الموجتين، ويحصل التداخل نتيجة لوجود فرق بالطور بين الموجتين الواصلتين إلى النقطة c مثلاً (وكذلك النقاط الأخرى) على اللوح الحساس، حيث يمكن للأشعة الذهاب من النقطة a ومن ثم إلى c، أو مباشرة من النقطة a إلى النقطة c. إذا كان فرق المسافة بين المسارين مساوياً لعدد صحيح من الأطوال الموجية، نحصل بذلك على تداخل بناء construcive، أما إذا كان فرق المسافة بين المسارين مساوياً لعدد صحيح من الأطوال الموجية مضافاً إليه نصف طول موجة فإن ذلك يؤدي إلى الحصول على تداخل هدام destructive.



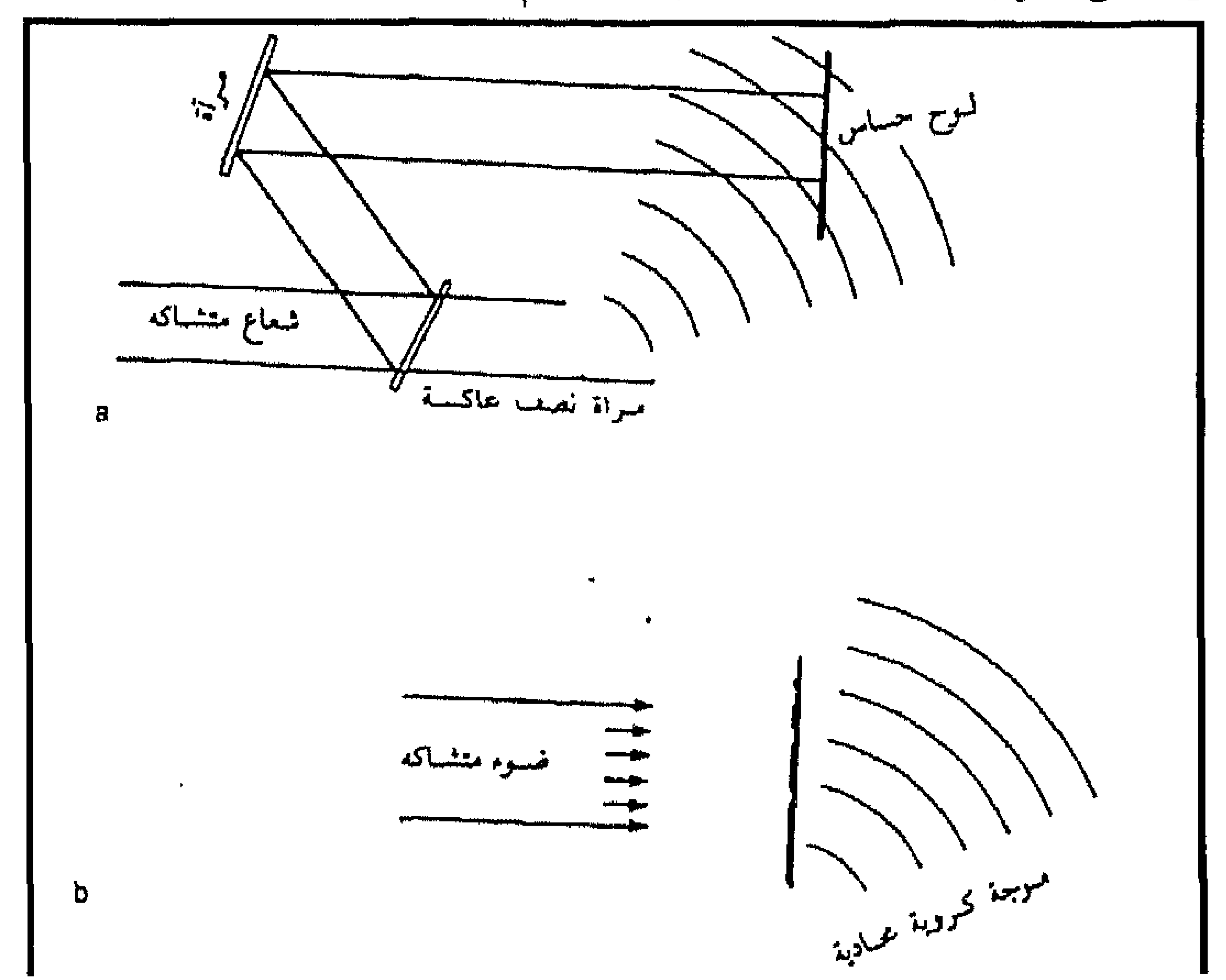
شكل(17) : تسجيل الهولوغرام لموجة مستوية

وهذا صحيح بالنسبة لجميع النقاط الأخرى على اللوح الحساس. بعد إجراء عمليات المعالجة الكيمياوية نحصل على الهولوغرام الذي يبدو كما في الشكل (18)، مكوناً من سلسلة من الخطوط المستقيمة المتجاورة. لنأخذ هذا الهولوغرام ونضيئه بشعاع ليزر متشاكه، فسنلاحظ أن قسماً من الشعاع سيحيد ، والنقطة الجديرة بالاهتمام هي أن الشعاع المحاد هذا يكون نسخة مشابهة تماماً للموجة المستوية التي إستعملت في عملية تسجيل الهولوغرام، حيث تم تسجيل طور الموجة إضافة إلى سعتها، وتم استرداد ذلك في الموجة الحادة.



شكل(18) يمثل شكل التداخل أو الهولوغرام الذي حصلنا عليه في الشكل السابق، سلسلة من الخطوط المستقيمة المنتظمة (a)، وعندما يضاء الهولوغرام بشعاع ضوئي متشاكه (b) نحصل على الموجة المستوية السابقة.

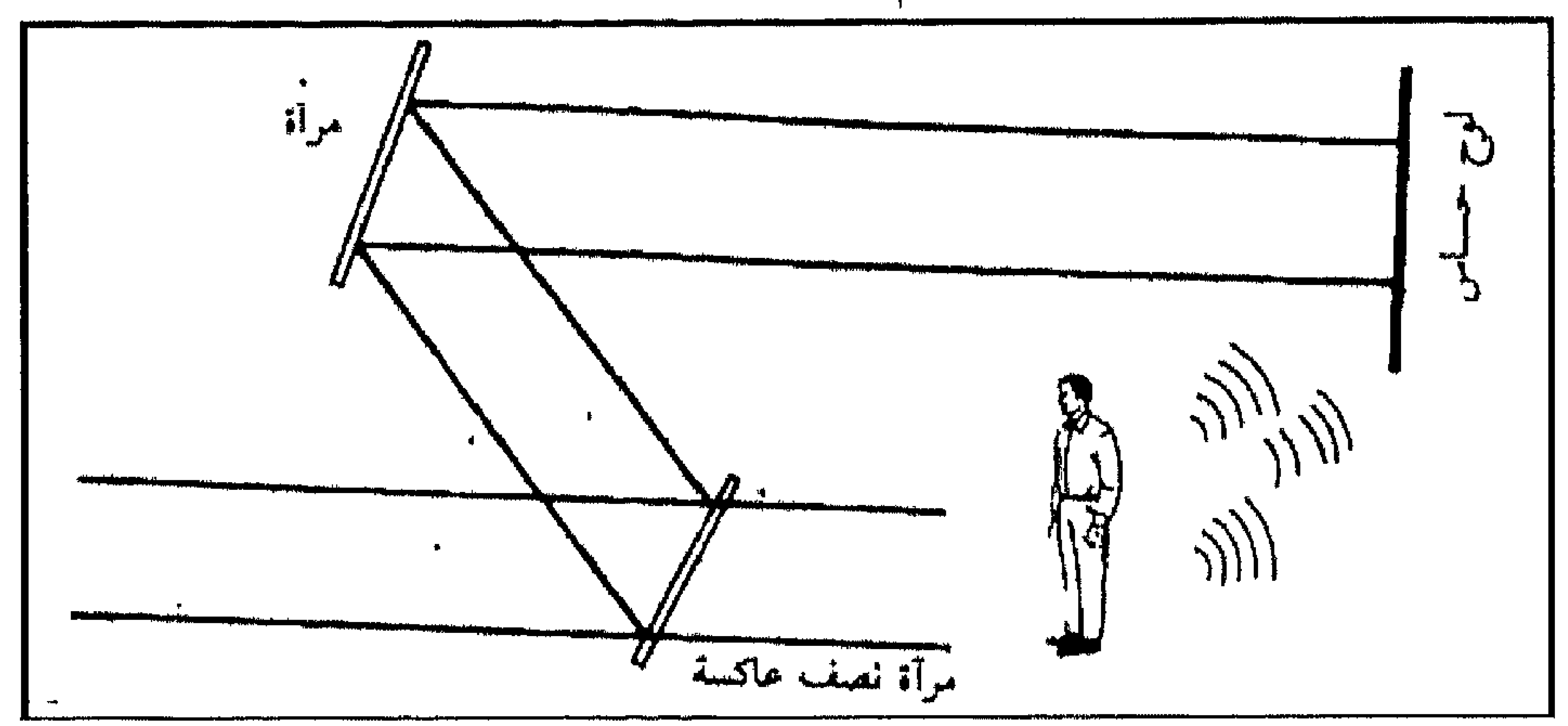
في الواقع إن الحصول على الهولوغرام لموجة مستوية ليس بالشيء المثير لذلك سنحاول تسجيل هولوغرام لموجة منعكسة عن جسم، وأبسط الأمثلة على الأجسام هي النقطة، ونلاحظ في الشكل (19 - a) عملية تسجيل هولوغرام لهذا الجسم. كما في التجربة السابقة فأن جزءاً ممن شعاع الليزر يذهب مباشرة إلى اللوح الحساس ليتداخل مع الشعاع الآخر المنعكس من الجسم، وبعد إجراء المعالجات الكيمياوية، نحصل على خطوط غير متجانسة وغير متناسقة على اللوح، إذا ما أضيء الهولوغرام هذا بشعاع متشاكه (كما في الشكل 19 - b) فإننا نحصل على الموجة المنعكسة من الجسم نفسها.



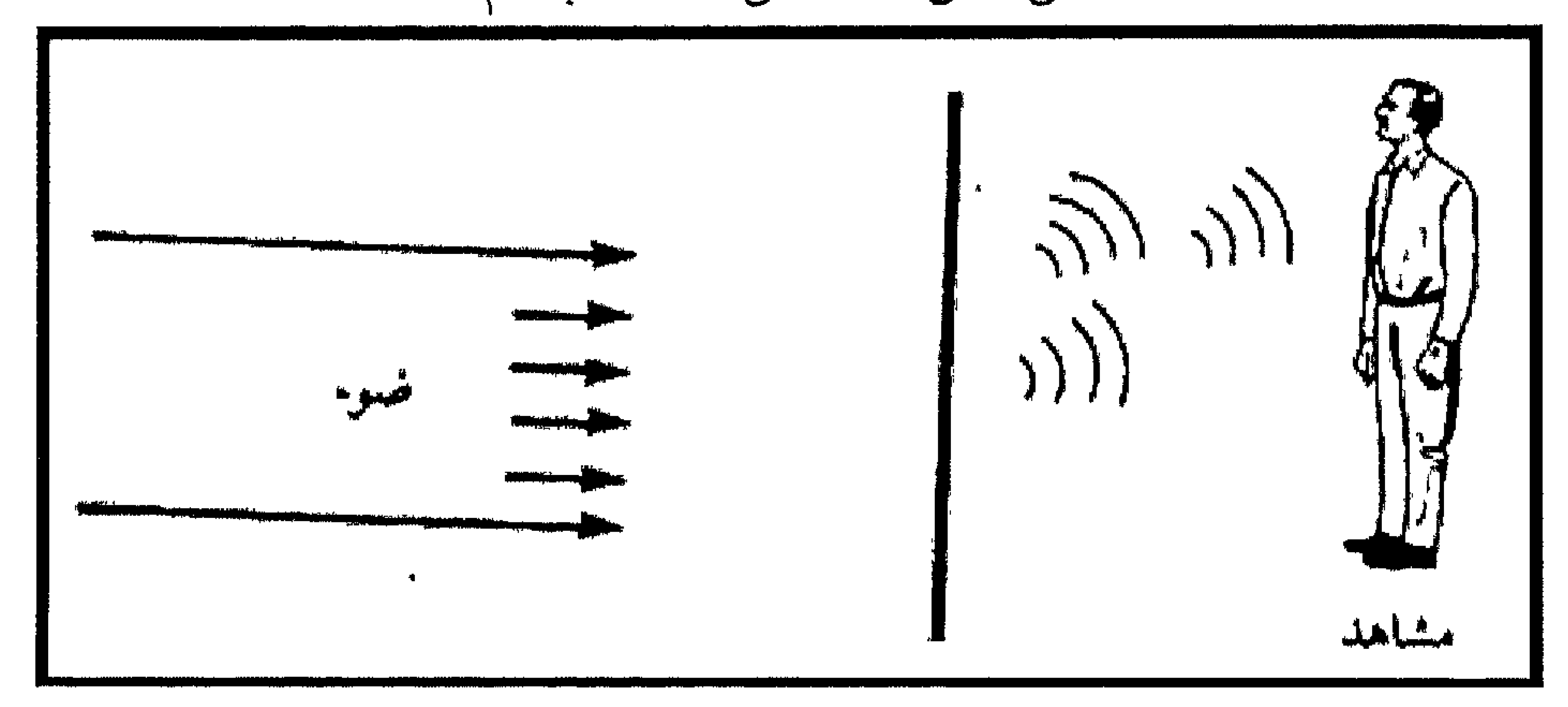
شكل (19): (a) مخطط يمثل عملية تسجيل الهولوغرام لنقطة، (b) نحصل على ألشعة ذاتها المنعكسة من النقطة، كما لو كانت النقطة موجودة في مكانها.

أما الآن فيمكننا الحصول على هولوغرام لجسم كبير، إذ يتكون الجسم من مجموعة من النقاط، نلاحظ في الشكل (20) الشعاع المنعكس من كل نقطة من نقاط الجسم المضاءة يتداخل على اللوح الفوتوغرافي مع الأشعة المنعكسة من المرآتين مباشرة إلى اللوح الفوتوغرافي، ليعطي لنا في النتيجة

شـكل تـداخل معقـد علـى اللـوح الفوتـوغرافي، وشـكل التـداخل هـذا مـن الدقـة بحيـث يصـعب مشـاهدته بـالعين المجـردة، فعنـدما ننظـر إلى الهولـوغرام بإسـتعمال الضـوء الاعتيـادي نشـاهد خطوطـاً ودوائـر متعرجـة دقيقـة وعنـدما يضـاء بشـعاع متشـاكه شـكل (21) فالأشـعة المحـادة منـه تكـون شـبحاً يمثـل الجسـم، وعنـد النظـر إليه نتصور وكأننا ننظـر إلى الجسم الحقيقي، حيث أن الأشعة المكونة له تشابه الأشعة المنعكسة من الجسم تماماً.

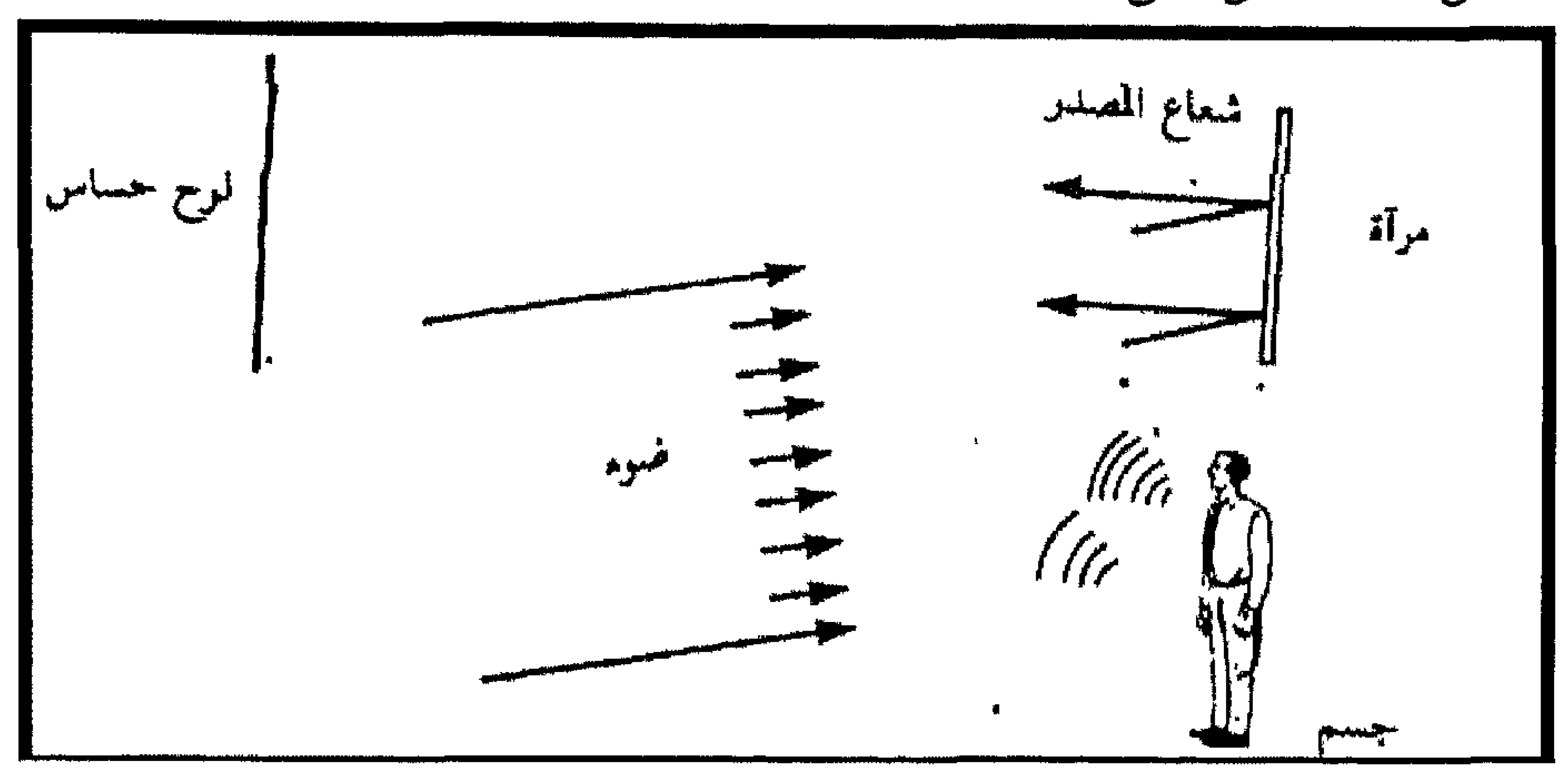


شـكل (20) : تسجيل الهولوغرام لجسم حقيقي يتمثل بتسجيل الأشعة المنعكسة من كل نقطة من نقاط الجسم



شـكل (21) : عند إضاءة الهولوغرام بشعاع متشاكه نحصل على أشعة تشابه تماماً تلك المنعكسة من الجسم

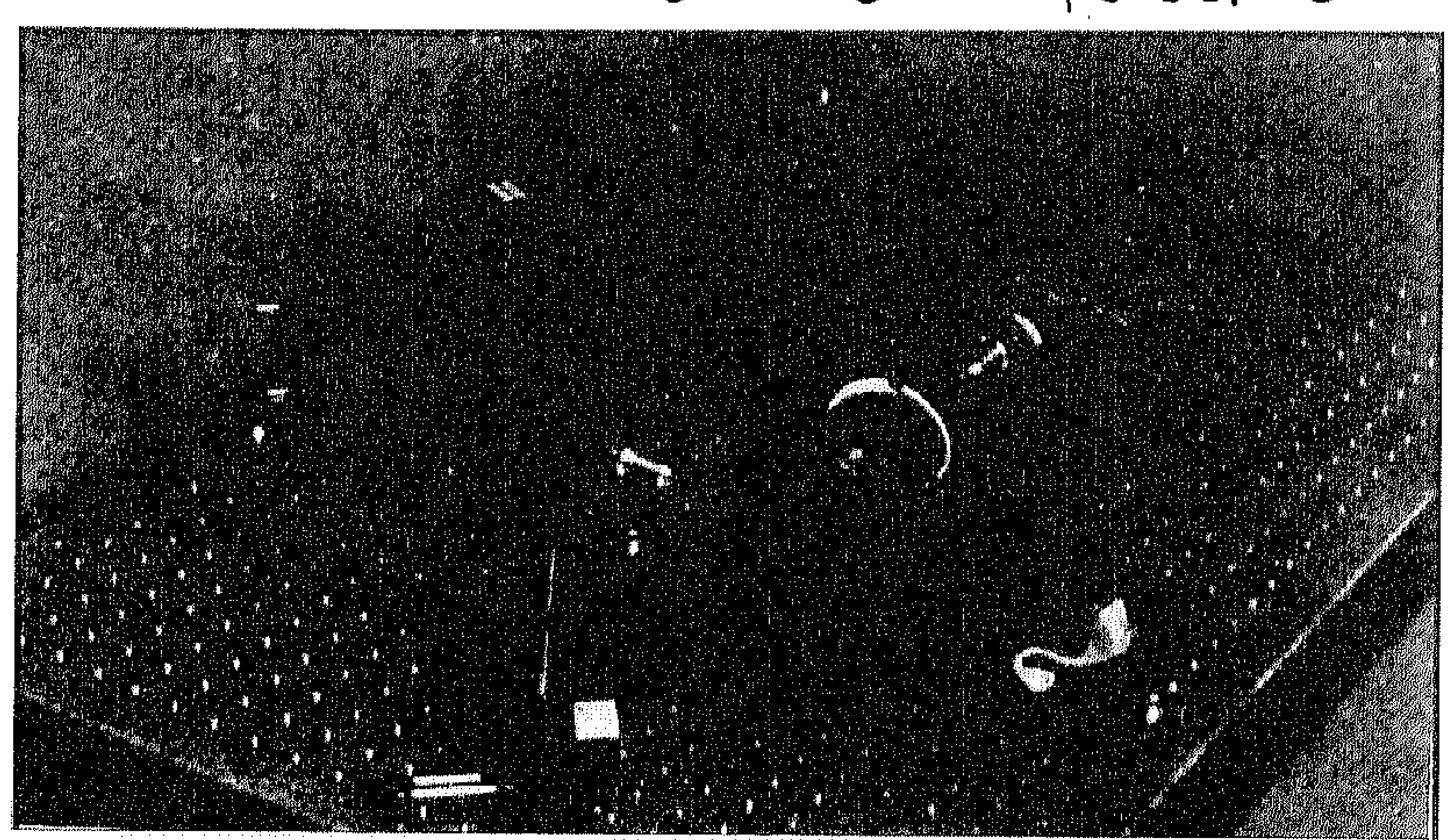
نلاحظ مما تقدم أن مبدأ الحصول على الهولوغرام بسيط. حيث ينقسم الشعاع إلى شعاع مصدر reference يوجه مباشرة إلى اللوح الحساس، وشعاع الجسم object حيث يوجه إلى الجسم لينعكس منه إلى اللوح الفوتوغرافي وبتداخل هذين الشعاعين، على اللوح محصل على الهولوغرام، وبالحفاظ على المبدأ السابق يمكن إستعمال أي تنظيم للحصول على الهولوغرام، وما يوضحه الشكل (22) مثال على ذلك.



شكل (22) : مثال على تنظيم آخر لعملية تسجيل الهولوغرام، وفيه أضيء الجسم من الأمام

يتكون الهولوغرافي أساساً من خطوتين، الأولى هي عملية تصوير الهولوغرام، وهذا ما نلاحظ في الشكل (23)، حيث يقسم شعاع الليزر إلى قسمين بإستعمال مرآة نصف شفافة، ويوجه أحدهما مباشرة إلى اللوح الفوتوغرافي ويسمى شعاع المصدر (Reference beam)، بينما يوجه الثاني نحو الجسم المراد تصويره لينعكس نحو اللوح الفوتوغرافي ويسمى هذا شعاع الجسم (Object beam). ونتيجة لتداخل الأشعة المنعكسة من الجسم مع شعاع المصدر نحصل على أهداب تداخل مسجلة على اللوح الفوتوغرافي، وبعد إجراء المعالجة الكيميائية للوح نحصل على ما يسمى بالهولوغرام.

إذن الهولوغرام ما هو إلا أهداب تداخل تعمل عمل مخزز الحيود عند سقوط شعاع ليزر عليها. ويسجل الهولوغرام على ألواح فوتوغرافية تستخدم فيها أملاح الفضة، وتكون ذات دقة عالية جداً، وكذلك تستخدم بعض البلورات ذات الخاصية الضوئية، أو أنواع من البوليميرات الحرارية. ويستخدم شعاع ليزر مشابه لذلك الذي إستعمل في عملية التصوير في مشاهدة الهولوغرام. ويبدو الهولوغرام بالضوء الاعتيادي لوحاً مرسوماً عليه خطوط تبدو الضوء الاعتيادي وهذه تسمى "الهولوغرام العاكس" (شكل (24)).



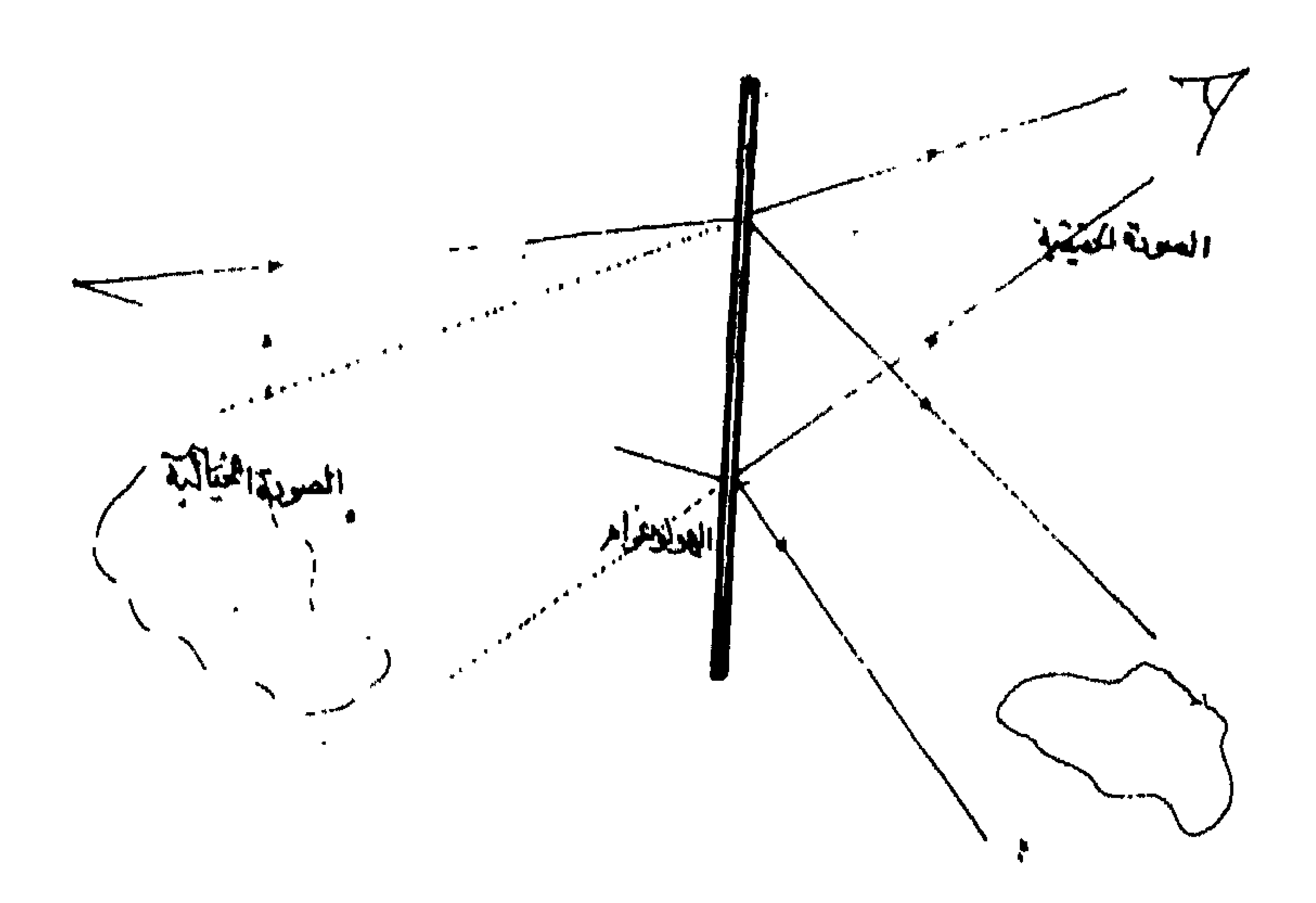
شكل (23) : عملية تصوير الهولوغرام.



شكل (24) : الهولوغرام كما يبدو و بالضوء الاعتيادي

المعلومات التي تسجل في الهولوغرام هي أكثر بكثير من المعلومات التي تسجل في عملية التصوير الفوتوغرافي الاعتيادي، إذ لا تسجل في الهولوغرافي في شدة الإضاءة لنقطة معينة فقط بل كذلك موقع النقطة ولونها أي تسجل كافة المعلومات عن الجسم والتي نحصل عليها نتيجة انعكاس الضوء عنه وكلمة "هولوغرام" مكونة من المقطعين HOLO وGRAM اليونانيتين، التي تعني الكتابة أو التسجيل والجمع أي تعني "تسجيل الجميع".

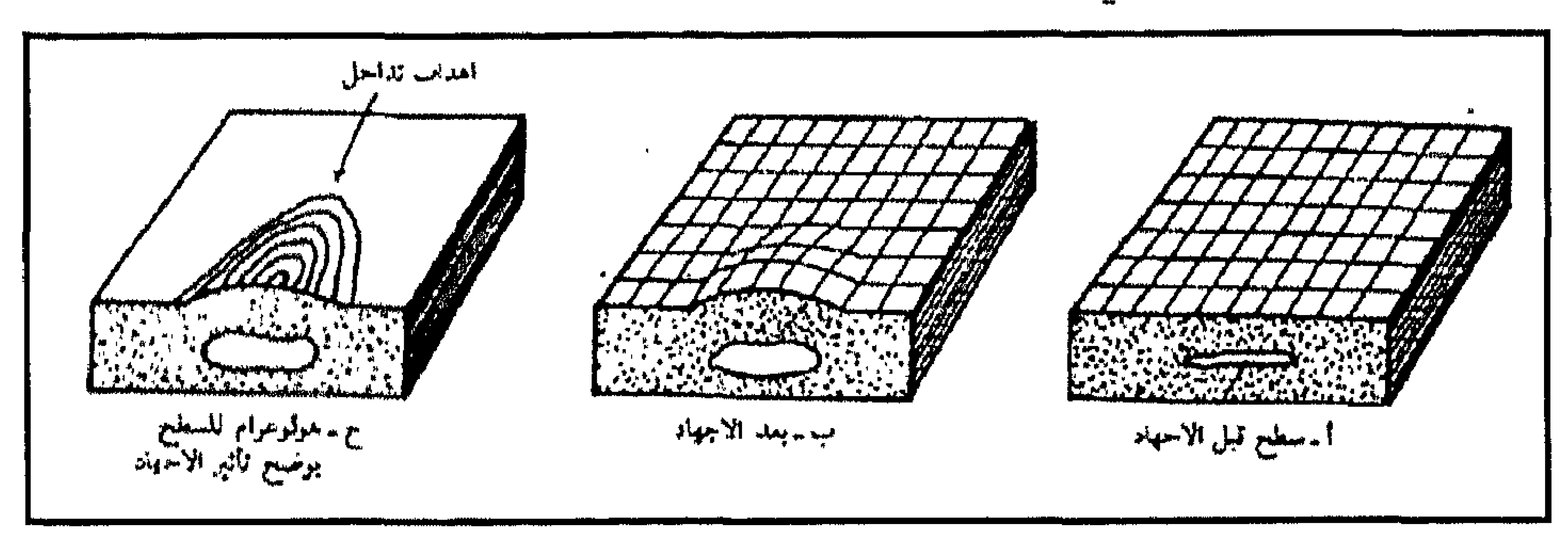
وحسب مبادئ الضوء، أن الهولوغرام هو شكل حيود (Interferogram) يحصل من تداخل موجة الجسم مع موجة المصدر. والخطوة الثانية هي مشاهدة الهولوغرام، فإذا ما أضيء الهولوغرام بشعاع ليزر مناسب، يمكن لنا مشاهدة الجسم خلفه، حيث يعمل الهولوغرام هنا عمل المحزز، يحيد الأشعة الساقط عليه لتكوّن بتقاطعها شبح الجسم وبأبعاد ثلاث، وفي الواقع فأننا نحصل على شبحين أحدهما حقيقي والآخر خيالي عند سقوط شعاع الليزر على الهولوغرام (شكل 25).



شكل (25) : مخطط يبين عملية مشاهدة الهولوغرام وموقع الصورتين الخيالية والحقيقية

5.2 التطبيقات الصناعية للهولوغرافي

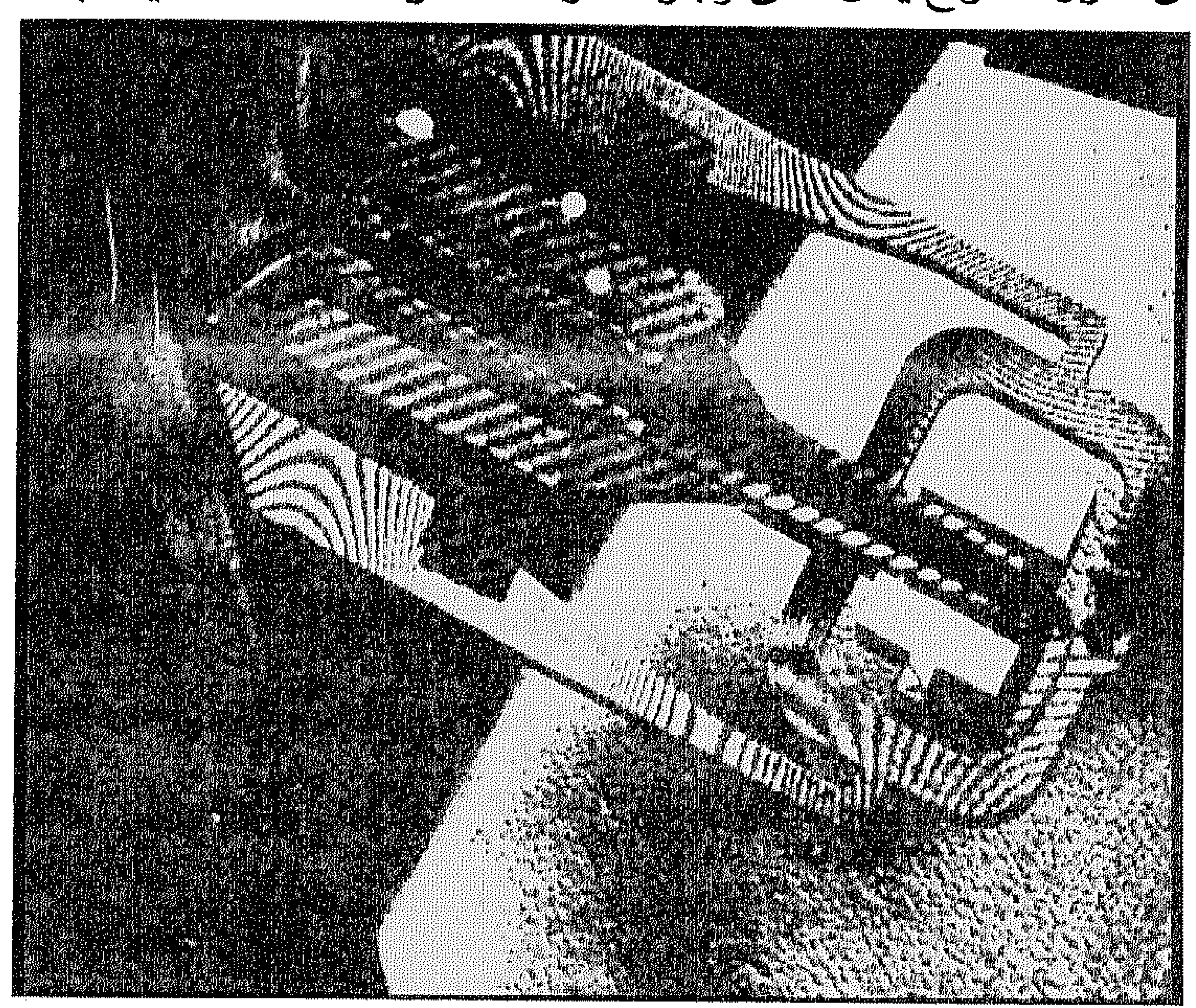
تستخدم منظومات الهولوغرافي بكثرة في خطوط الإنتاج في الصناعة حيث يتم فحص المنتوج للتأكد من خلوه من العيوب التي لا يمكن مشاهدتها بالعين المجردة. على الرغم من وجود أكثر من طريقة تستخدم الهولوغرافي في الفحص، لكن جميعها تعتمد على المبدأ نفسه؛ حيث يسجل هولوغرامان للجسم ومن ثم ينظر إليهما معاً، وأي اختلاف يحصل للجسم في الفترة بين تسجيل الهولوغرامين يظهر على شكل أهداب تداخل لاحظ الشكل (26) والذي فيه قطعة من المعدن المحتوية على عيب داخلي.



شكل (26) : الكشف عن العيوب الداخلية بواسطة الهولوغرافي

فإذا ما عرضت القطعة إلى إجهاد فإن تغيراً طفيفاً سيحصل في السطح الخارجي لها، ونحصل على الإجهاد بإستعمال ماسك يضغط على القطعة، فإذا ما حصلنا على هولوغرام للقطعة قبل الإجهاد، وآخر بعده ووضعنا أحدهما فوق الآخر تماماً فإننا نحصل على أهداب تداخل في منطقة التشوه الحاصل في السطح أو بالأحرى في منطقة وجود العيب الداخلي، وهذا التغير أو التشوه الحاصل في سطح القطعة لا يمكن اكتشافه بالعين المجردة حيث أنه لا يتجاوز أجزاء المايكرون غالباً.

ويستخدم الهولوغرافي كذلك في دراسة وتحليل الاهتزاز للأجسام الميكانيكية، مثالاً على ذلك رأس القراءة والتسجيل المغناطيسي المستخدم مع الاسطوانات المغناطيسية في الحاسبات الإلكترونية، والذي يتحرك بسرعة عالية ومن ثم يتوقف فجأة، هذا التوقف يؤدي إلى حصول اهتزاز عالٍ في هذا الرأس مما يؤثر في مكوناته، تأثيراً سيئاً للغاية، إذا لم يكن تصميمه متقناً، لذلك يستخدم الهولوغرافي أداة لتحليل أنماط الاهتزاز في رأس التسجيل هذا، كما موضح ذلك في الشكل (27). في هذه الحالة يسجل هولوغرامان بسرعة عالية ولا يفصل بينهما سوى وقت قصير وأهداب التداخل التي نراها نتيجة جمع الهولوغرامين مع بعضهما تبين ثبات رأس التسجيل، حيث يوضح الأهداب على عرض الذراع "نمط الانحناء التذبذبي bending vibration mode. وعدم وجود أهداب على طول الذراع يدل على وجود حركة التواء torsion قليلة جداً فيه.



شكل (27) أهداب التداخل الناتجة من جمع هولوغرامين، لرأس التسجيل في جهاز قارئ الاسطوانات الخاص بالحاسبات الإلكترونية

6.2 إستعمالات الهولوغرافي

إضافة لإستعمال الهولوغرافي في الحصول على صور مجسمة للأجسام، هناك إستعمالات أخرى له وفي شتى المجالات الصناعية والعلمية، منها:

1. إستعمال الهولوغرافي في الفحص اللاإتلافي .

أحد أهم إستعمالات الهولوغرافي في الصناعة، هو في الفحص اللاتلافي (اللاتدميري) N.D.T للمنتوجات الصناعية. حيث يمكن دراسة الجسم ككل أو فحص أجزاء منه دون إتلافه أو الحاجة لصنع نموذج له. وبإستعمال يمكن ملاحظة أي تغيير طفيف يحصل في الجسم نتيجة إجهاد سلط عليه.

ولدراسة تأثير الإجهاد على الأجسام بإستعمال الهولوغرافي هناك عدة طرق أهمها:

أ. طريقة الملاحظة المباشرة Real Time Method

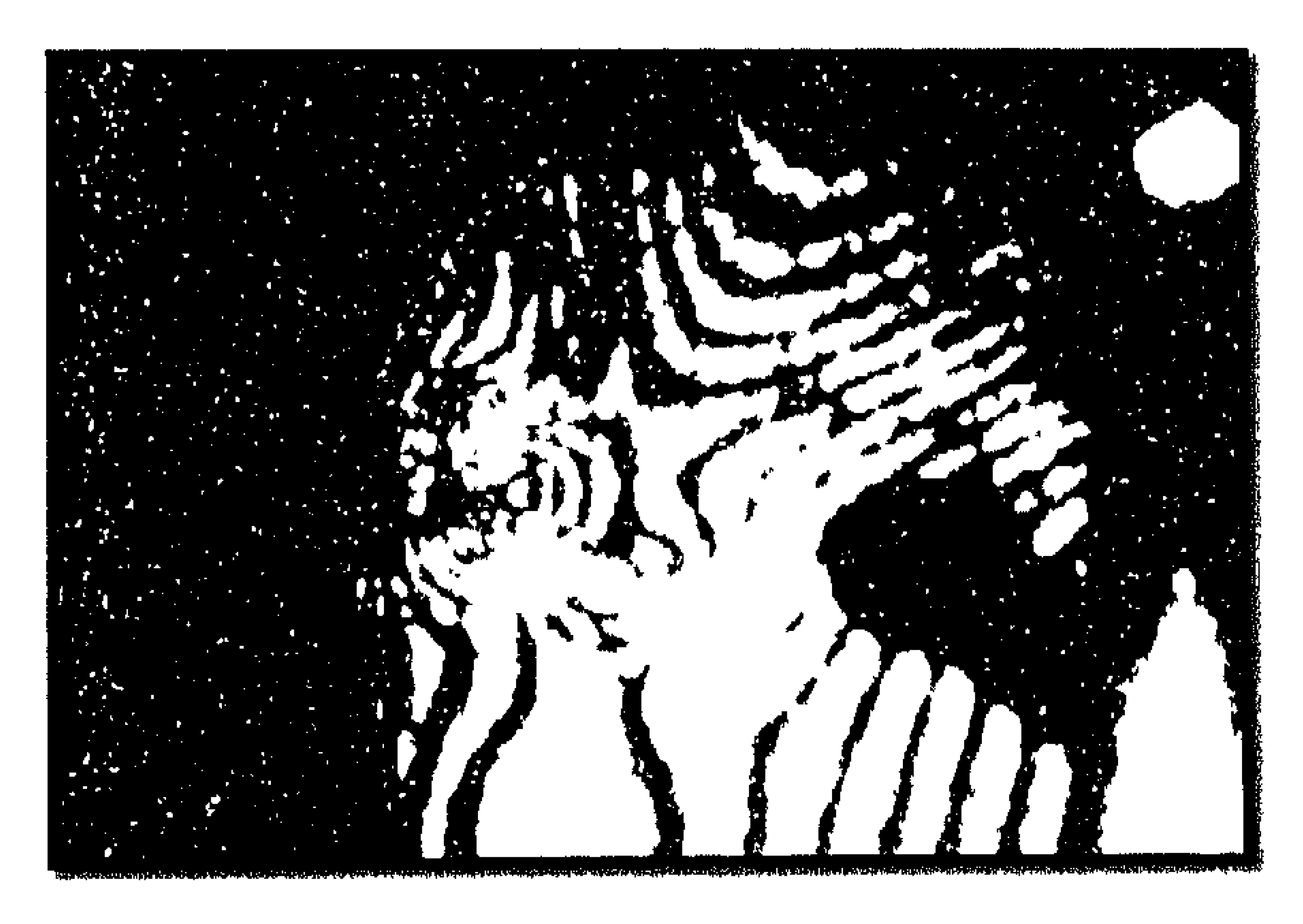
في هذه الطريقة يصور هولوغرام للجسم المراد دراسته دون تسليط أي إجهاد عليه، وبعد إتمام عملية تظهير اللوح الفوتوغرافي، يعاد ليوضع في مكانه تماماً، وعند النظر من خلاله سنلاحظ الصورة الخيالية للجسم تماماً، بحيث لا يمكن لنا التمييز بينهما. إذا ما سلطنا الآن أي إجهاد على الجسم بحيث يؤدي إلى حصول تغيير في شكله (بحدود أجزاء المايكرون) فأن جهة الموجة الصادرة من الهولوغرام والممثلة للجسم دون إجهاد ستتداخل مع جبهة الموجة الصادرة من الجسم بعد الإجهاد، ونتيجة لهذا التداخل نحصل على أهداب مظلمة تقع على الجسم. عدد هذه الأهداب وشكلها يعطي لنا فكرة واضحة عن تأثير الإجهاد على الجسم، ونقاط الضعف فيه، وفي هذه الطريقة يمكن دراسة تأثير الإجهاد على الجسم بصورة مباشرة، وكذلك تأثير تغيره أيضاً.

ب. طريقة التعويض المزدوج Double exposure method .

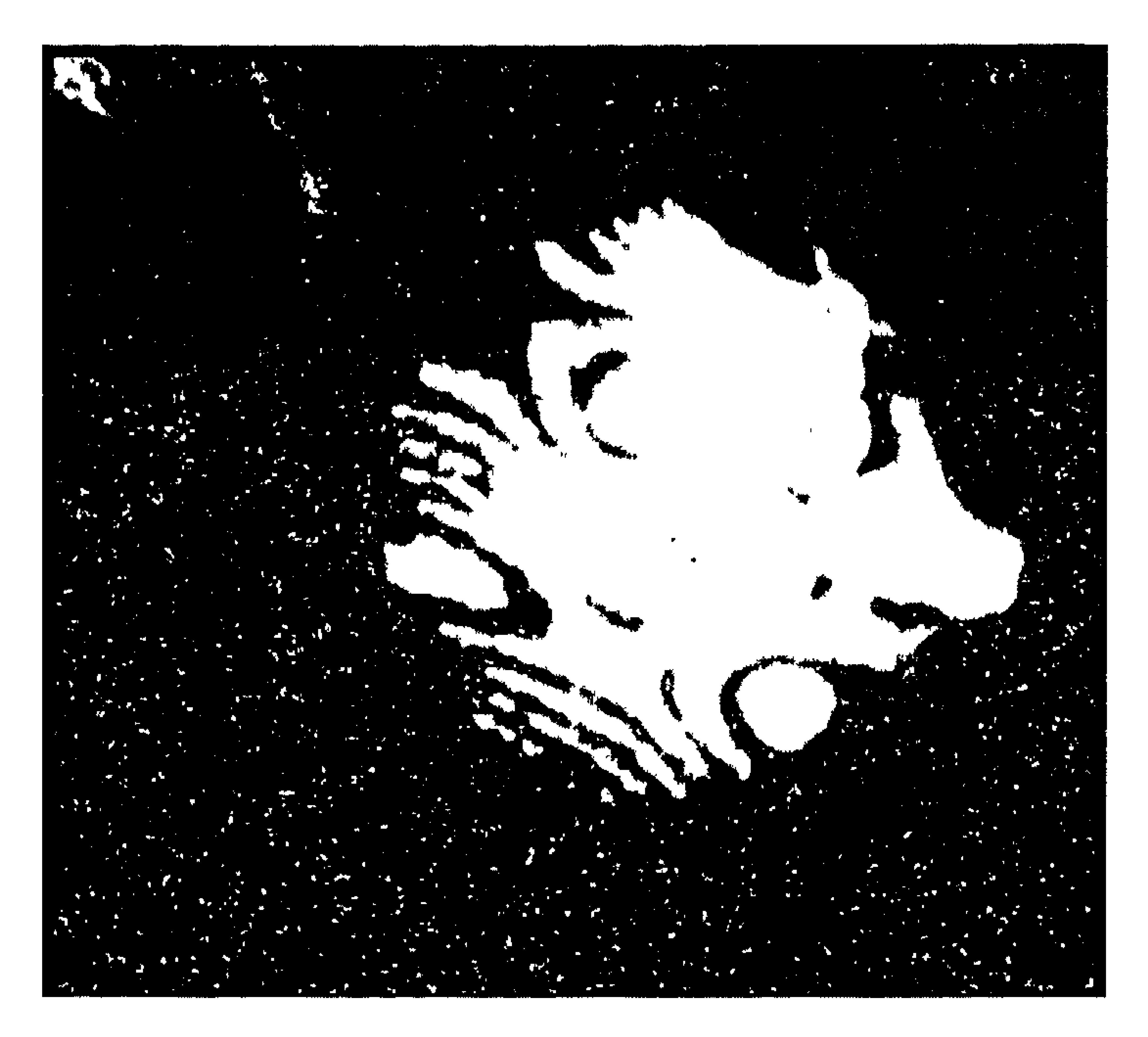
للحصول على صورة ثابتة كهولوغرام (بثلاثة أبعاد) لجسم مسجل عليها تأثير إجهاد معين، يصور هولوغرام للجسم دون تسليط أي إجهاد عليه وقبل عملية تظهير اللوح الفوتوغرافي يصور هولوغرام آخر للجسم بعد تسليط الإجهاد وعلى اللوح نفسه. بعد إجراء عملية تظهير اللوح نحصل على هولوغرامين احدهما فوق الآخر مع تغيير في الثاني نتيجة تسليط الإجهاد عليه، وبذلك تتداخل جبهتا الموجتين الصادرتين من الهولوغرامين، لنحصل على أهداب تداخل موزعة على صورة الجسم، ومنها يمكن معرفة تأثير الإجهاد عليه.

ج. طريقة تحليل الاهتزاز (المعدل الزمني) Time average method

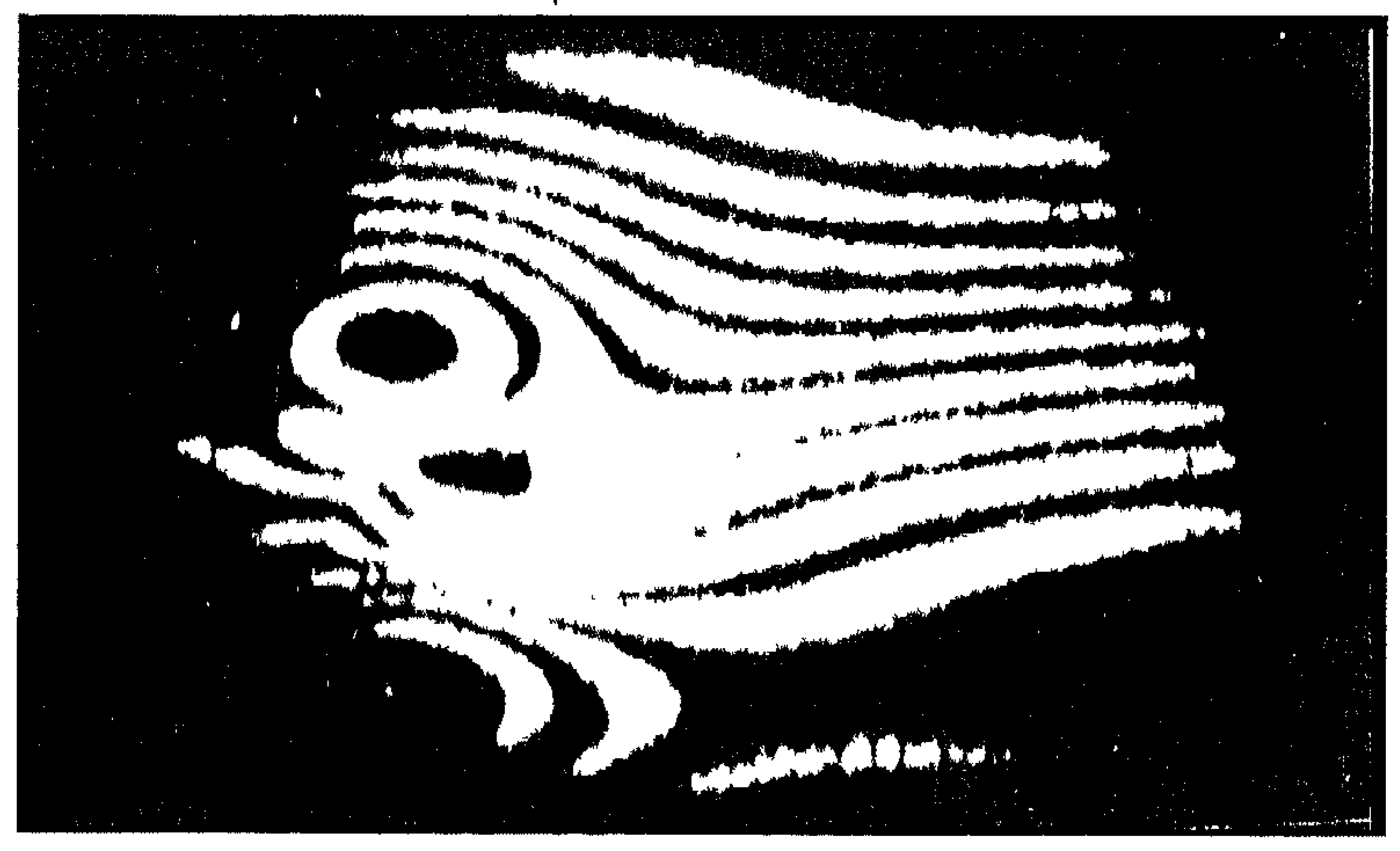
يستخدم الهولوغرافي أيضاً في دراسة تذبذب الأجسام وكذلك دراسة مصادر الضوضاء الناتج من الأجزاء المتحركة، وتتم العملية بتصوير هولوغرامين على لوح واحد، وبفارق زمني قليل. ويستخدم الليزر النبضي لذلك. نلاحظ في الأشكال (28) و(29) و(30) و(31) على التوالي، عملية قياس إجهاد مقداره (3.3 مايكرون)، وتشقق في منطقة لحام لقطعتين معدنيتين، والتآكل الحاصل في أنبوب، الإجهاد الناتج من الضغط على علبة ألمنيوم فارغة بواسطة قطعة من المطاط.



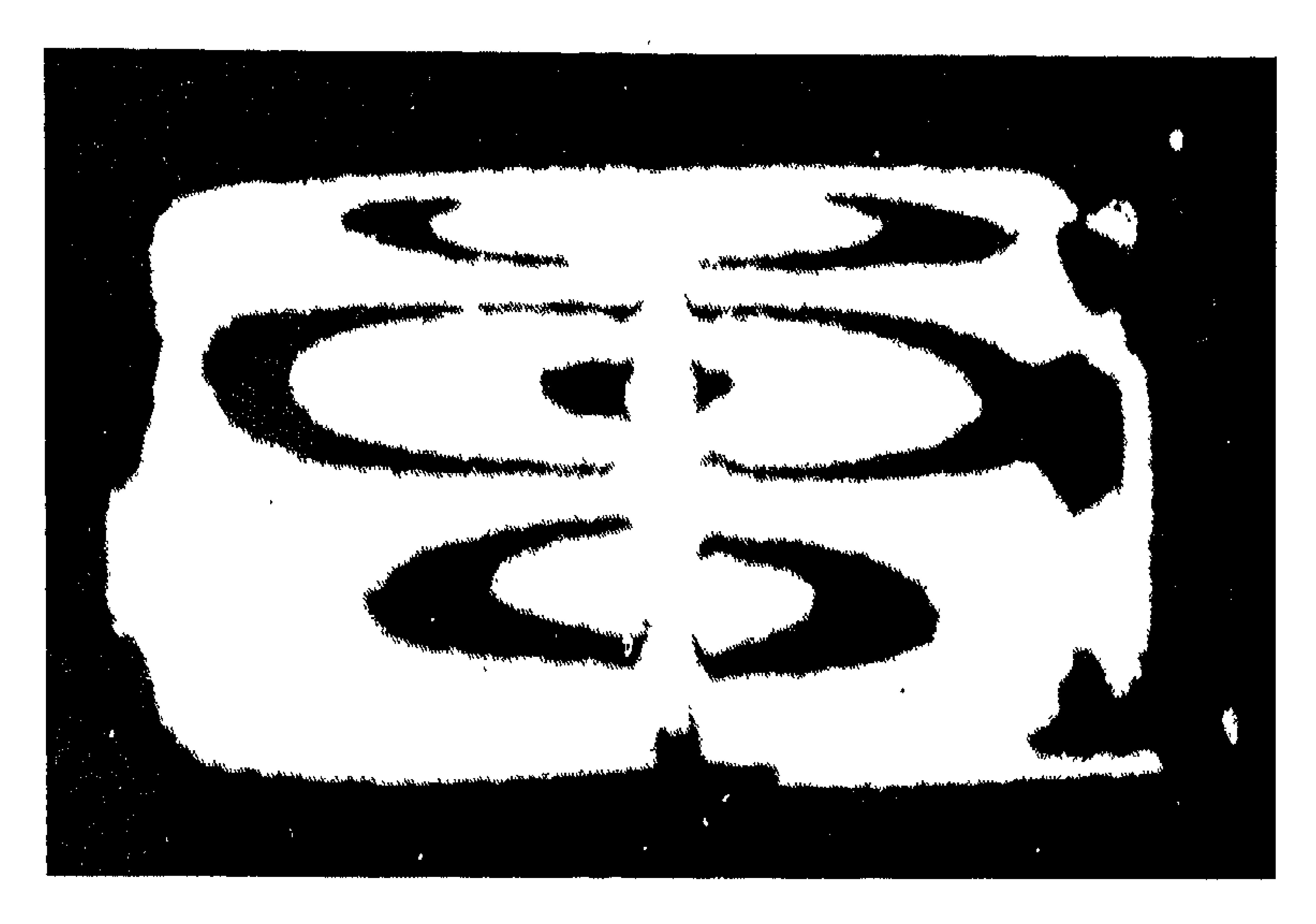
شكل (28) : إجهاد بمقدار 3 -1 مايكرون على لوح رقيق جداً من الألمنيوم



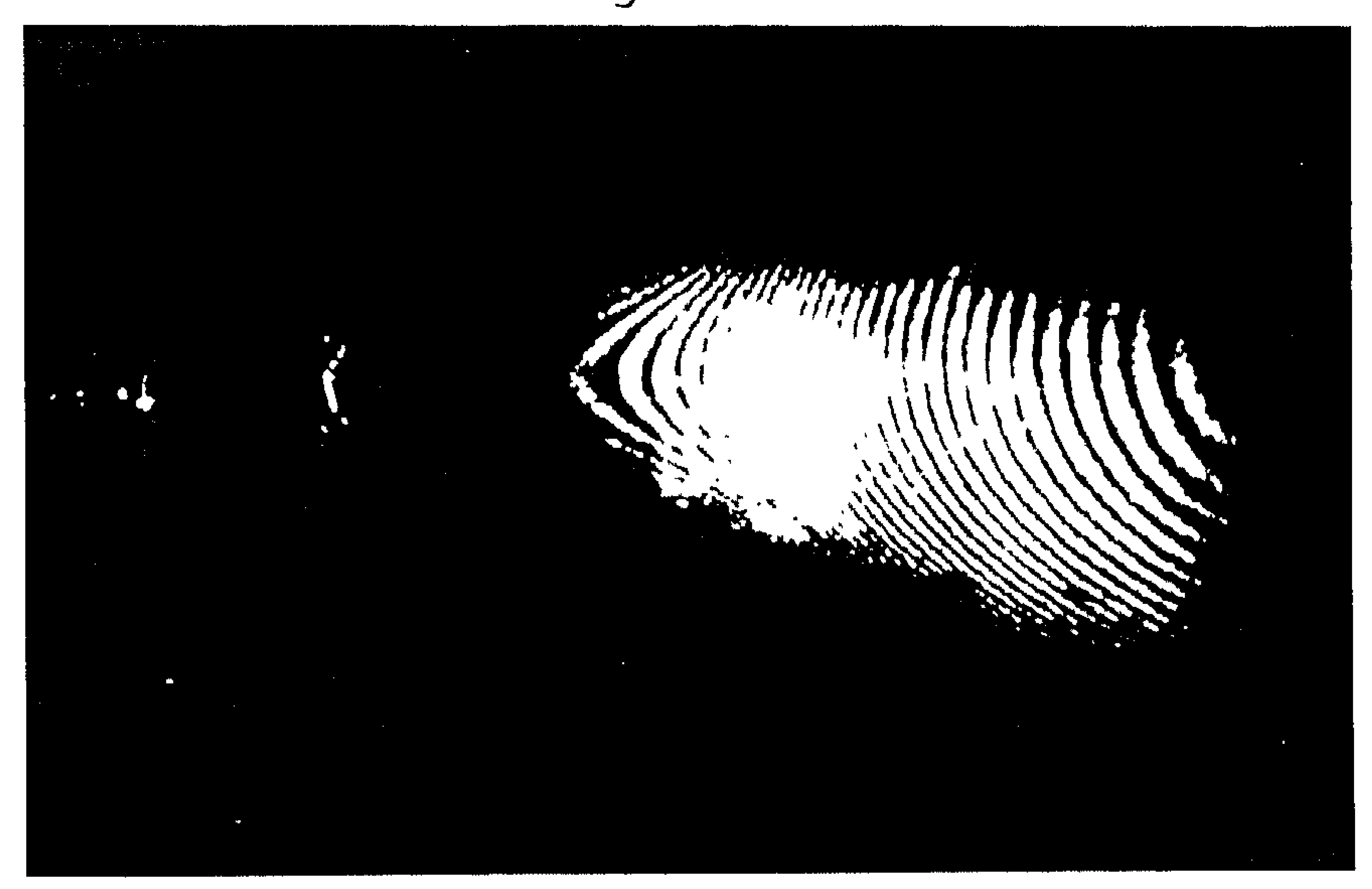
شكل (29) شق في منطقة لحام لقطعتين معدنيتين



شكل (30) : التآكل الحاصل في إنبوب من الداخل كما يبدو من الخارج نتيجة تغير بسيط في الضغط



شكل (31) :علبة ألمنيوم فارغة موضح عليها الإجهاد الناتج من موضع قطعة مطاط حوله



شكل (32) يمثل مصباح موضح عليه الأهداب نتيجة تمدد غلافه الزجاجي بعد إمرار التيار الكهربائي عليه

2. **إستعمال الهولوغرافي في حفظ المعلومات** Data storage .

يمكن إستعمال الهولوغرافي في حفظ 300خط/ ملم فيه تقريباً، أي يمكن وضع عشرة ملايين نقطة في الملمتر المربع الواحد. وعند إستعمال أفلام سميكة (سمكها بحدود 20 مليكرون) يمكن وضع (600 مليون) نقطة في الملمتر المربع الواحد منها، وهذا يعني إمكانية حفظ معلومات كثيرة جداً في مساحات صغيرة، وبذلك إستعمل الهولوغرافي في ذاكرات الحاسبات الإلكترونية الكبيرة.

3. **إستعمال الهولوغرافي في تمييز الأشكال** Image recognition .

يستخدم الهولوغرافي في عملية تمييز شكل معين من مجموعة من الأشكال، ويستخدم هذا مع أجهزة الإنسان الآلي.

4. **إستعمال الهولوغرافي في توضيح الأشكال** Image debreling

يستخدم الهولوغرافي في عملية توضيح الأشكال الصور غير الواضحة المعالم. وكذلك فصل الصور المطبوعة فوق بعضها البعض.

7.2 مستقبل الليزر

في كل يوم نسمع عن إستعمال جديد لأشعة الليزر وفي كل يوم نسمع عن مجال جديد تستخدم فيه أشعة الليزر والمجالات التي تجرى البحوث فيها حالياً على قدم وساق لتطوير إستعمال الليزر فيها هي إستعمال الليزر في الانشطار النووي القوى الرابطة لنواة كبيرة جداً ولغرض فلق النواة للحصول على الطاقة النووية للإستعمال السلمي أو العسكري نحتاج إلى مفاعلات كبيرة لتجهيزنا بحرارة هائلة تقدر بمليون درجة مئوية لذلك لجأ العلماء لإستعمال الليزر في ذلك، فحاولوا صنع ليزرات كبيرة جداً (2 تزليون واط) لفلق الذرة وتجري محاولات أخرى للحصول على طاقة أكبر.



الفصل الثالث

الفحـــص بالأشعة السينية

Test by X-Ray



الفصل الثالث

الفحص بالأشعة السينية Test by X-Ray

1.3 المقدمة

عرفت الأشعة السينية لأول مرة عام (1859) من قبل العالم الفيزيائي الألماني (ولهلم كنرا فون رونتجن)، والذي كان قد بلغ الخمسين من عمره، عندما أثار اهتمامه بعض الأشعة المعروفة بالكاثودية، لأنها كانت تنشأ على مستوى الإلكترود السلبي أو الكاثود، في أنبوب (كروكس). وأنبوب كروكس مصباح أفرغ من الهواء، وزود بإلكترودين اثنين متصلين بقطبي مولدة كهربائية. كانت تلك الأشعة (المؤلفة من حزم من الإلكترونات، كما سيعرف ذلك في ما بعد، تظهر للعيان، ببعض الظواهر الضوئية داخل المصباح. كان قد لوحظ كذلك، أن بعض اللوحات الفوتوغرافية (الخاصة بالتصوير الشمسي) القريبة من الأنبوب تتغشى؛ كما لوحظ أنَّ شاشةً مطلية بجسم متفلور، كانت تضيء وتشع. والحال أنه كان يبدو ثابتاً، أنَّ الأشعة الكاثودية ما كانت تفلت من المصباح فماذا يحدث إذاً؟ ويبدأ مئات العلماء في جميع بلاد العالم في إعادة تجربة رونتجن ودراسة هذه الأشعة الجديدة والظواهر المتصلة بها.

ومن هذه الظواهر، ظهور بقعة مضاءة بلون باهت أصفر مخضر على جدران الإنبوبة التي استعملها رونتجن لأول مرة في المكان الذي تخرج منه هذه الأشعة الفاحصة النفاذة. ولم يستطع رونتجن نفسه ولا أي عالم غيره تفسير سبب حدوث هذا التوهج الذي ظن أنه السبب في اسوداد اللوح الفوتوغرافي. بتاريخ 8 تشرين الثاني 1895، وهو تاريخ يذكر، لاحظ رُنتجن ظاهرةً فريدة من نوعها. كان قد ألبس الأنبوب قبعةً من كرتون أسود صفيق، لا يخترقه النور؛ فإذا بالشاشة المتفلورة تضيء وتلتمع بوضوح، بالرغم من ذاك الاحتياط ... ثبت إذ

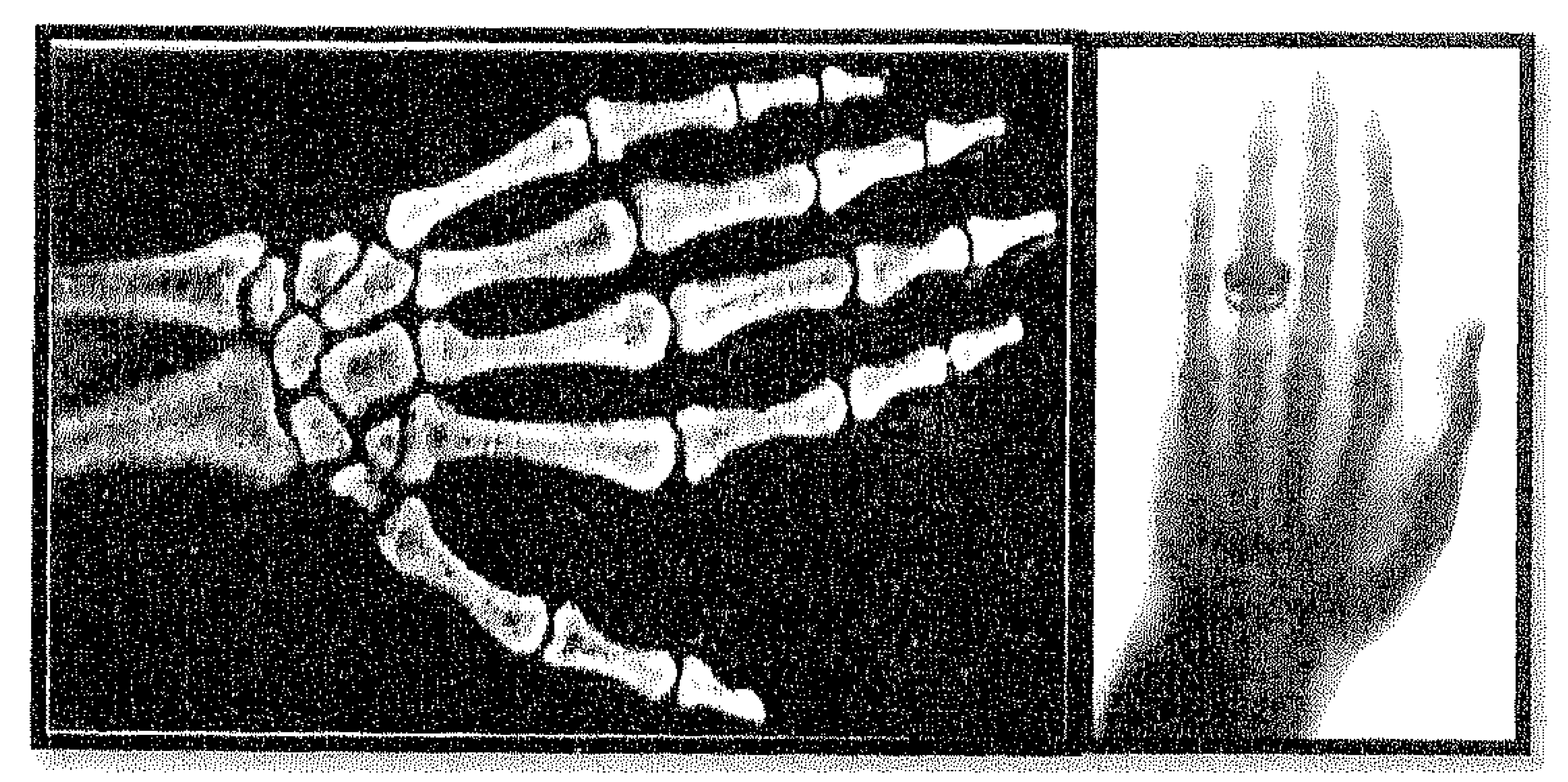
ذاك، بما لا يحتمل الشك، أن إشعاعاً مجهولاً ينبعث من الأنبوب، فيعجز الكرتون الأسود عن حبسه. أثار هذا الأمر فضول رُنتجن إلى أبعد حد، فطلب أن يُقام سريره وأن يؤتى بالطعام في مختبره الذي لن يبرحه طوال أسابيع محمومة.

وتراكمت الاختبارات، وأيقن (رونتجن) يقيناً مطلقاً، أن سبب تلك الظواهر الملحوظة يكمن في نوع جديد من الإشعاعات، يتولد من اصطدام الأشعة الكاثودية بحاجز، أي بالإلكترود السلبي. فرمز إلى هذه الأشعة الغريبة بحرف (س)، فعرفت بالأشعة المجهولة، السينية. اتفق له يوماً، أن رفع ذراعه بين الأنبوبة والشاشة، فصعق بمشاهدة عظام يده: وكانت تلك الظاهرة أول فحص بالأشعة السينية. وضع إذ ذاك محلَّ الشاشة المتفلورة لوحة حساسة، فحصل على صور في غاية الغرابة، وإذا هي أول صورة إشعاعية سينية. ولقد أثارت هذه الصورة ضجة كبيرة في العالم: كانت أولاها تُظهر يد السيدة (رونتجن) هيكلية مجردة من اللحم. ولم تكن صورة البركار أو الأوزان المعدنية، المرتسمة بوضوح عبر جدران إحدى العلب، أقل إثارة للدهشة والذهول.

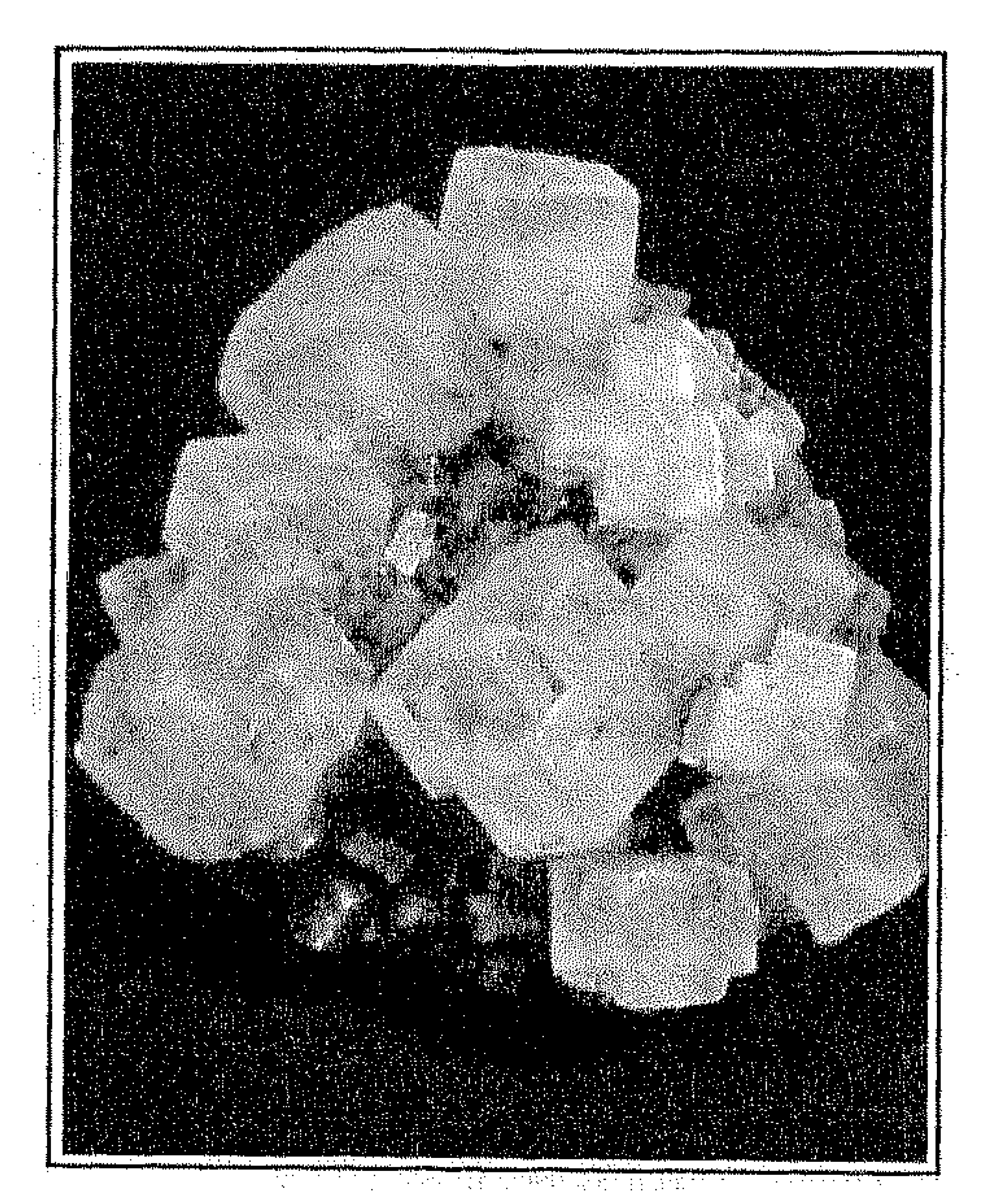
وسرعان ما أدرك العلماء الإمكانات المدهشة العجيبة التو توفرها الأشعة السينية للتشخيص الطبي: فطالما أن الجسم شفاف إزاءها، فقد بات بالإمكان تحديد موقع أي جسم غريب فيه، كما بات بالإمكان تمييز تفاصيل الكسر كلها، عبر ظلمات الأنسجة. وإنطلاقاً مما لوحظ من تأثير الأشعة السينية على الخلايا الحية، فكر الأطباء، منذ عام 1896، باستعمالها مباشرة في علاج المرضى؛ فكان مطلع عهد المعالجة بالأشعة السينية، وانفتحت أمام الطب آفاق واسعة شاسعة.

سيكشف العلم أن الأشعة السينية من نوع الأشعة الضوئية؛ إلا أنها أقصر منها طول الموجة، مما يوفر لها القدرة على التغلغل عبر الأجسام الصفيقة. وسيكون لاكتشاف هذه الأشعة نتائج لا حصر لها، على علم الفيزياء. فهي تلعب، في دراسة تكوين البلوريات، دوراً أساسياً خطيراً. ناهيك عن أن المعدنين

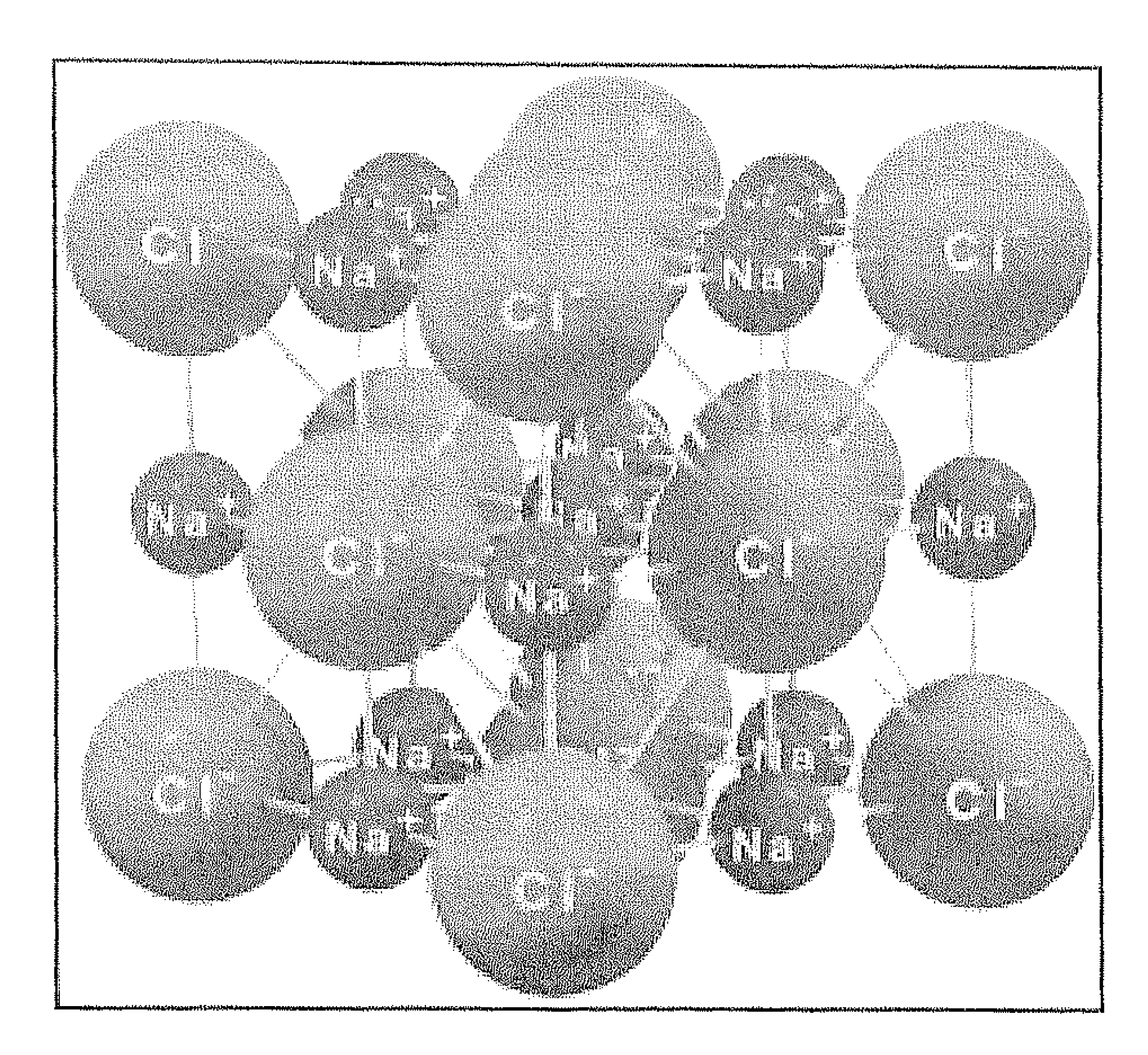
يستعملونها باستمرار، لفحص العينات التي يحللونها. ويمضي البحث العلمي قدماً ... فيجد ((هنري بيكريل)) نفسه، فيما كان يحاول التحري عن تلك الأشعة، أمام ظاهرة النشاط الإشعاعي، فإذا هو على عتبة عالم جديد، هو عالم الذرة والطاقة النووية .



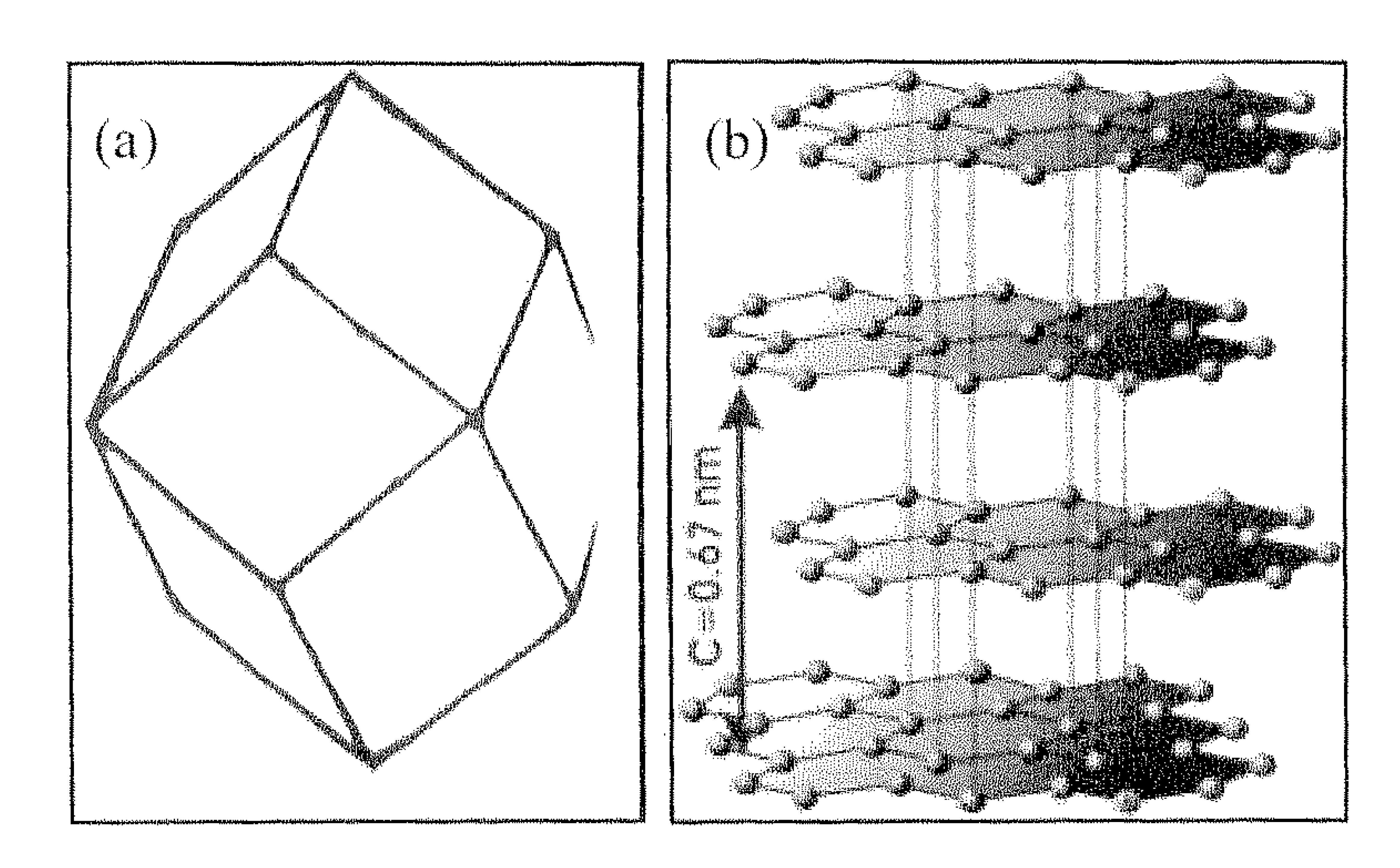
شكل (1) : صورة أشعة ليد بدون خاتم وأخرى بخاتم



شكل (2) : بلورة ملح الطعام (كلوريد الصوديوم)

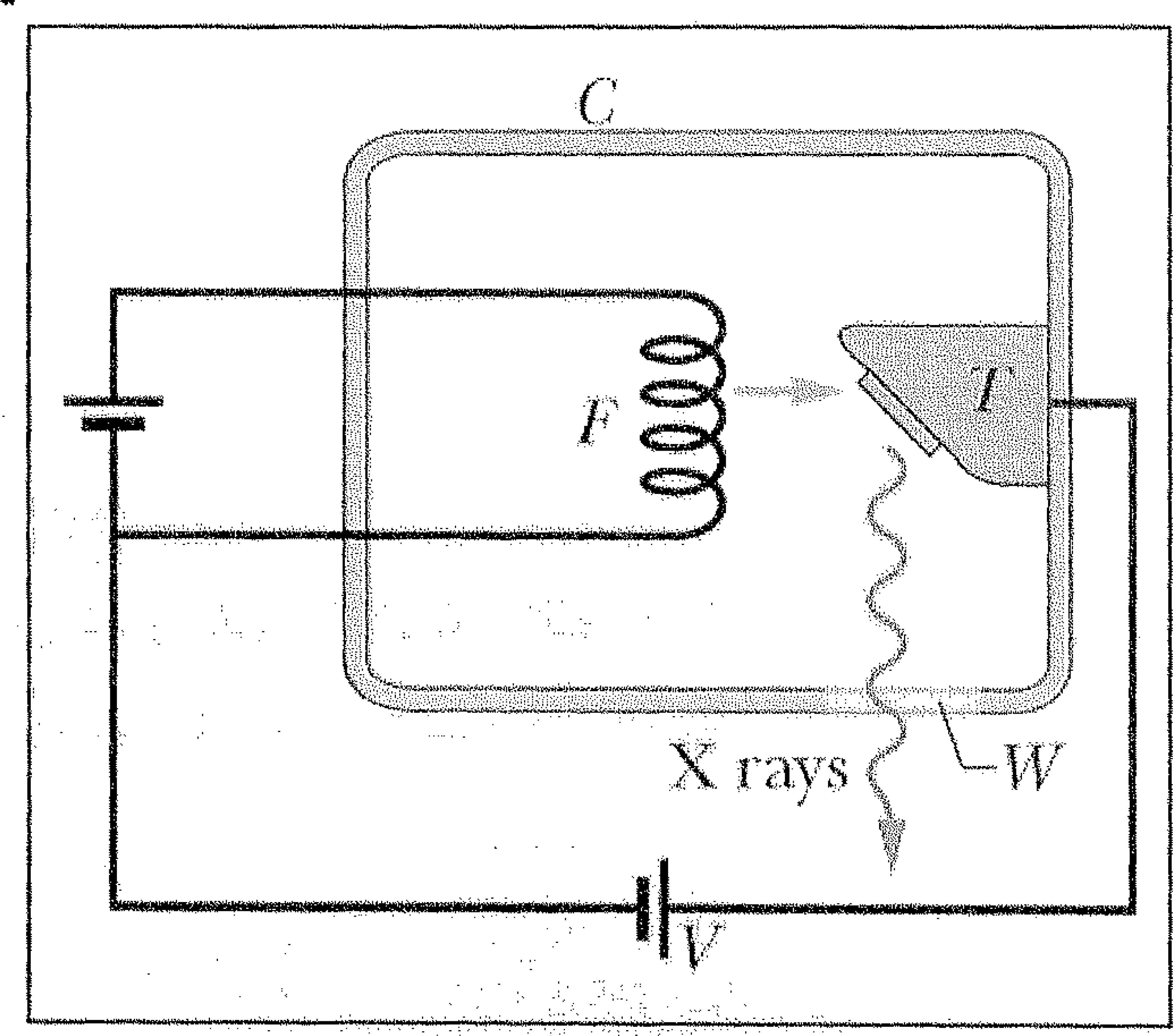


شكل (3) : البلورية لملح الطعام NaCl كما تظهر بواسطة الأشعة السينية



شكل (4) :(a) بلورة كرافيت، تظهر فيها ذرات الفحم في أشكال مسدسات تنتظم بطبقات (b)

وهكذا استمر استعمال الأشعة السينية على ألواح حساسة دون فهم ماهية الإشعاع المستعمل حتى عام 1912 م حيث تم التحقق أن هذه الأشعة غير مرئية وقد تم اكتشاف ظاهرة الحيود للأشعة السينية قبل عام 1912 بقليل حيث نجحوا كل من [Haga] و[Wind] بإرسال حزمة من الأشعة السينية خلال فتحة ضيقة جداً محصلاً على ظاهرة الحيود "Diffraction effect". غير أن الحيود كان ضعيفاً بحيث أن النتائج لم تقبل وكذلك من صفات الأشعة ذات طول موجي قصير جداً مما جدى بالعالم الألماني (لاوي) عام 1912 من أن هذه الأشعة يمكن أن تحيد من البلورات لكون المسافات البينية لها مقارنة بطول الأشعة X-ray ونجح بذلك حيث تم التعرف على التركيب البلوري الدقيق للمواد بواسطة هذه الأشعة. وتعتبر الأشعة السينية جزء من الطيف الكهرومغناطيسي .

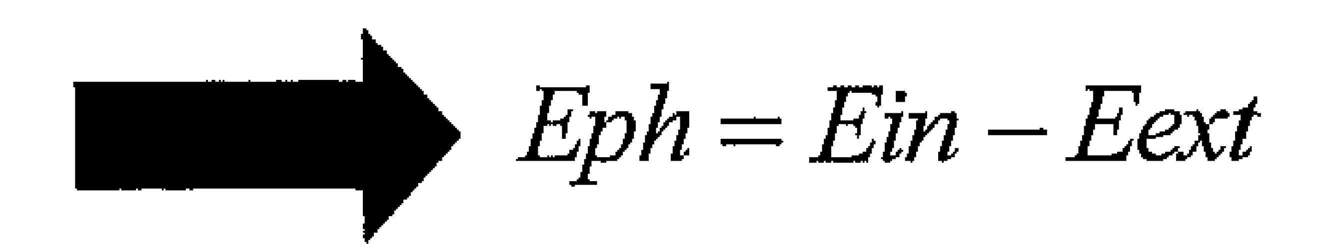


شكل (5) : مخطط يوضح كيفية توليد X-ray

2.3 توليد الأشعة السينية

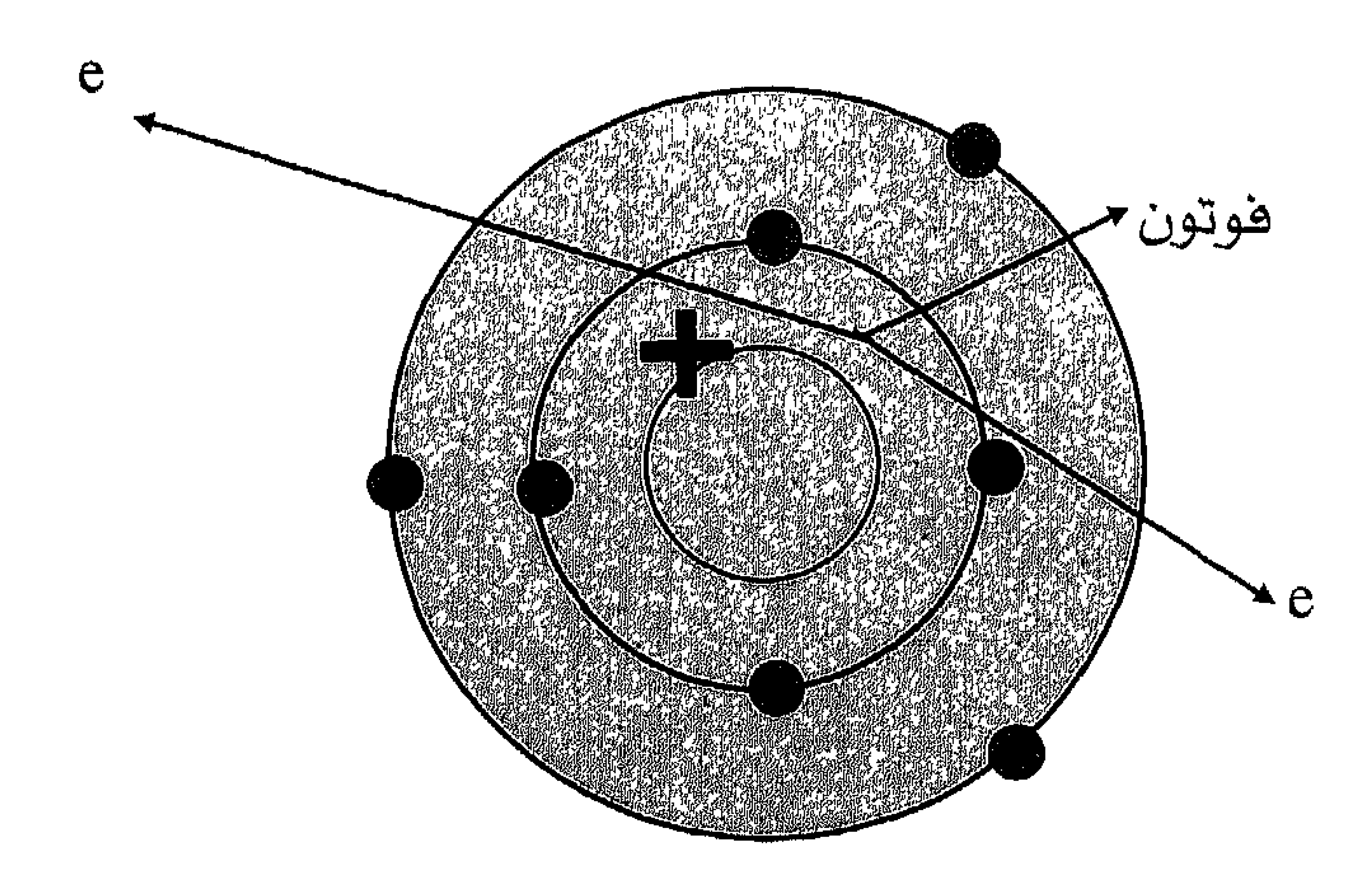
عند قذف الأنود (من مادة نحاسية) بالإلكترونات المعجلة والمنبعثة من الكاثود، سوف يصطدم إلكترون الساقط بإلكترونات مادة الانود فينطلق سريعاً فتولد الأشعة السينية، وهنالك ثلاثة إحتمالات لإنتاج x-rays:

1 - عند وصول الإلكترون الهدف أي عند اصطدام الإلكترون بالمادة فإن الإلكترون قد يصطدم بأي إلكترون وقد يصل إلى النواة ولكن لا يصدمها بفعل المجالات النووية ولكن يتأثر بمجالها الكهربائي ويخترق إلكترون ونقصان طاقتها الحركية وهذا النقصان في الطاقة الحركية يظهر بشكل فوتون الأشعة السينية منبعث تحسب طاقته من العلاقة :



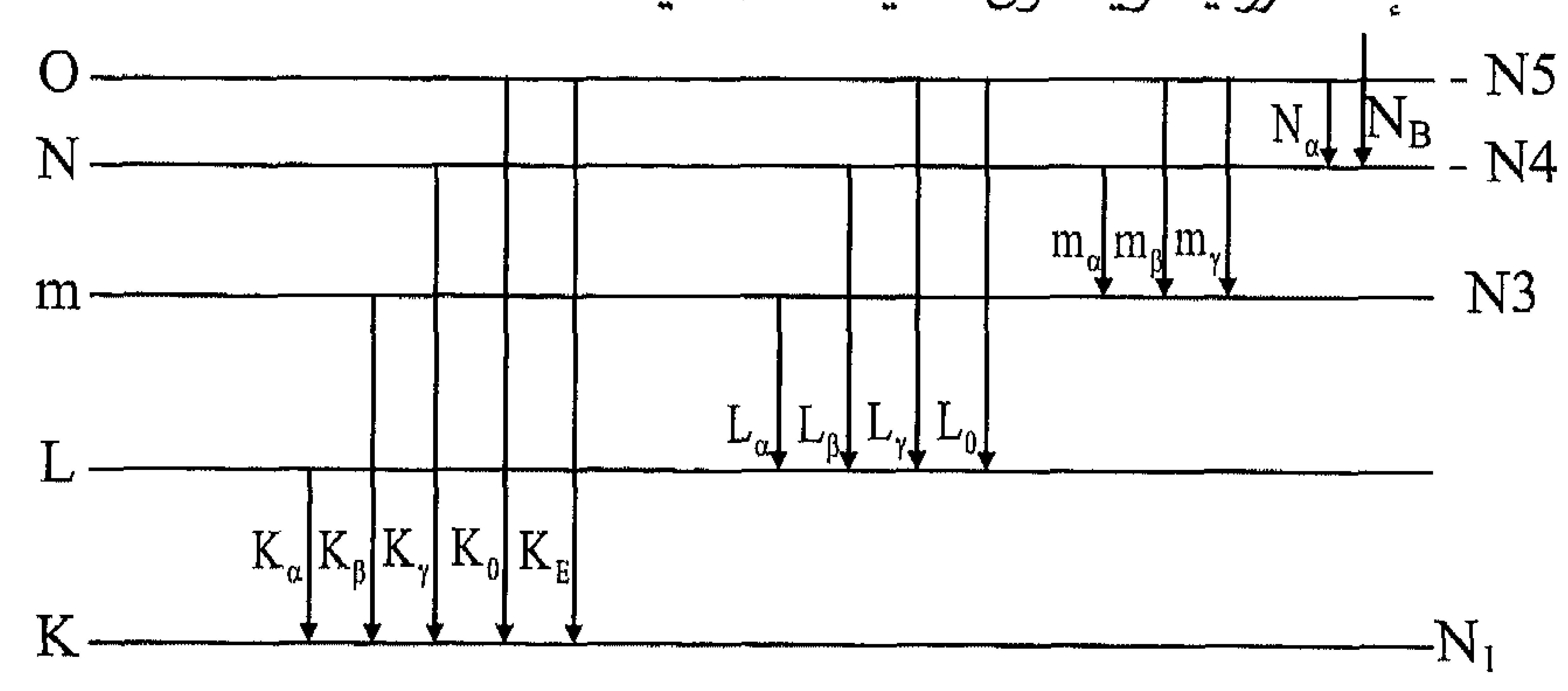
$$Eph = Ein - Eext$$

وتزداد طاقة الفوتون كلما كان عدد إلكترون أكثر تقارباً من النواة وبمرور هذا الإلكترون بالقرب من ذرة أخرى من ذرات الهدف يتكرر ما حدث له في النواة الأولى. وتقل طاقة الفوتونات المتولدة تبعاً وعليه يكون لها مدى واسع من الذرات المتدرجة غير المنفصلة ويسمى هذا الطيف بالطيف المستمر أو المتصل.

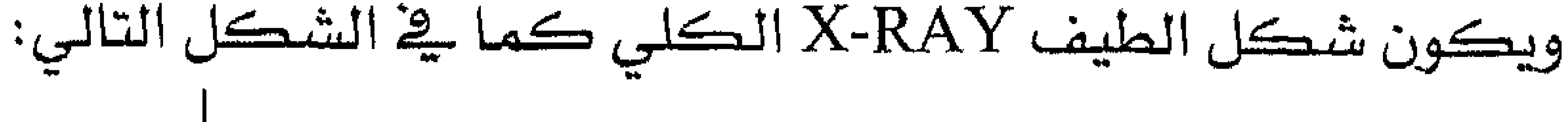


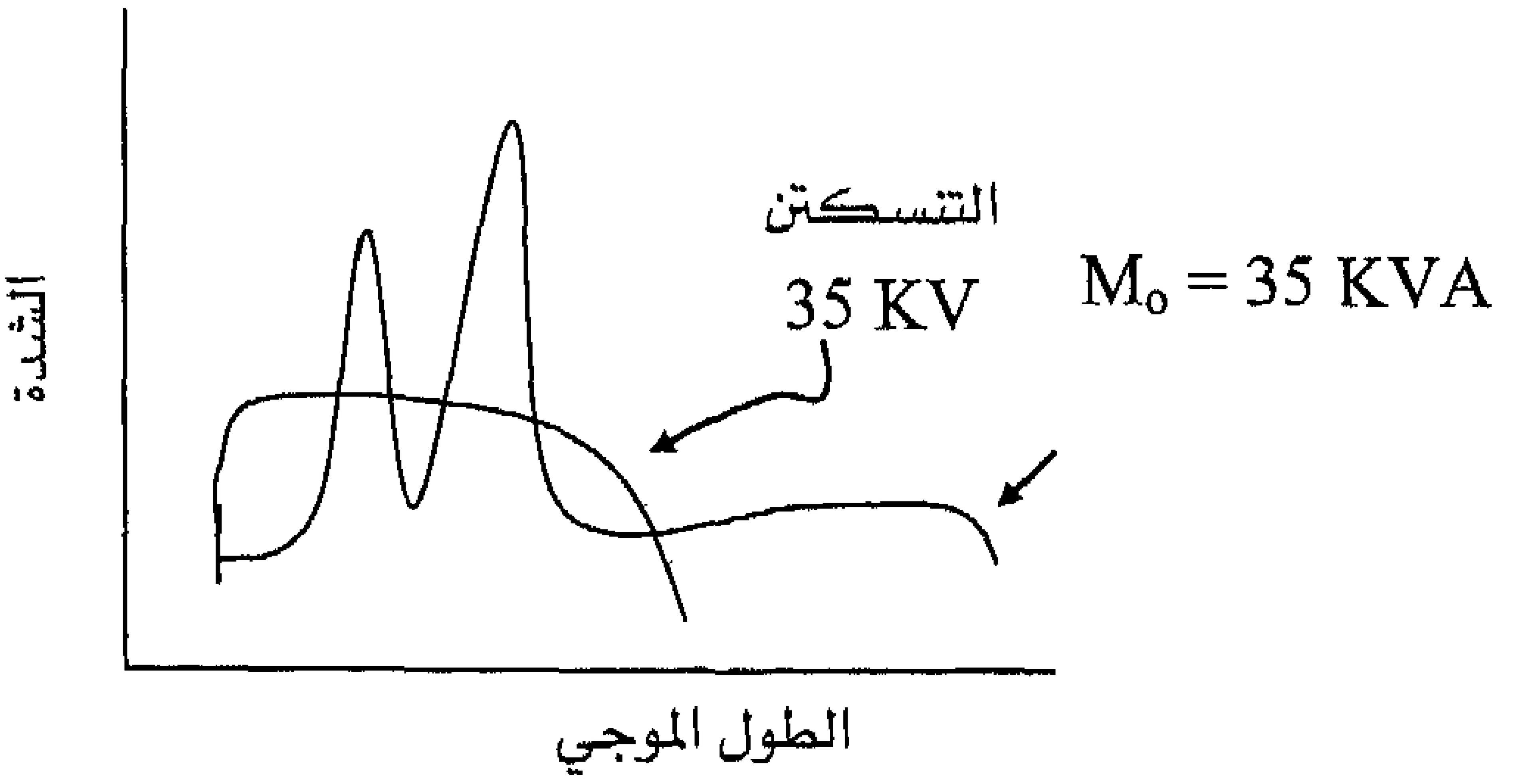
2 - عند تعجيل إلكترون من الكاثود إلى الآنود سيصاحبه مجال مغناطيسي وعند تصادم هذا الإلكترون فجأة فأن الطاقة المغناطيسية المصاحبة له ستتبدد على هيئة إشعاع فوتون ونظراً لأن الإلكترون توقفه ليس مشابه للاختراق لعدد من الذرات سيكون مجموع الفوتونات المنبعثة من المجال المغناطيسي والنقص في الطاقة الحركية يكون في مدى واسع من الترددات المتدرجة.

3 - عند اصطدام إلكترون معجل بـإلكترون من ذرة مادة الهدف سيكسبه معظم طاقته الحركية وينخلع هذا الإلكترون من الذرة وتصبح الذرة متهيجة ولكن ستفوق من المدار الذي يليه عندما يسقط إلكترون من المدار الأعلى إلى المدار الأسفل ويكون مختلف مع مستوي الطاقة فأنه سيبعث معظم طاقته بهيئة كم فوتونات وتكون طاقة الفوتون مساوية للفرق بين طاقتي المستويين الذين حدثت بينها القفزة الإلكترونية. ويكون الطيف كما في أدناه.



شكل (6) : إحتمالية توليد x-ray


ويكون شكل الطيف X-RAY الكلي كما في الشكل التالي:



شكل (7) : الطيف المميز والمستمر

عندما يكتسب الإلكترون تعجيلاً في مجال كهربائي بتعرضه لجهد قدره فولت عندما يصطدم بالقرص الصلب مولداً الأشعة الكاثودية. وتكون الطاقة الحركية للإلكترون لحظة الاصطدام أو الطاقة للأشعة المتولدة من الاصطدام تتناسب مع مربع سرعة إلكترون حسب المعادلة:

$$\frac{1}{2}m\upsilon^2 = eV$$

$$e = 1.6022 \times 10^{-19} C$$

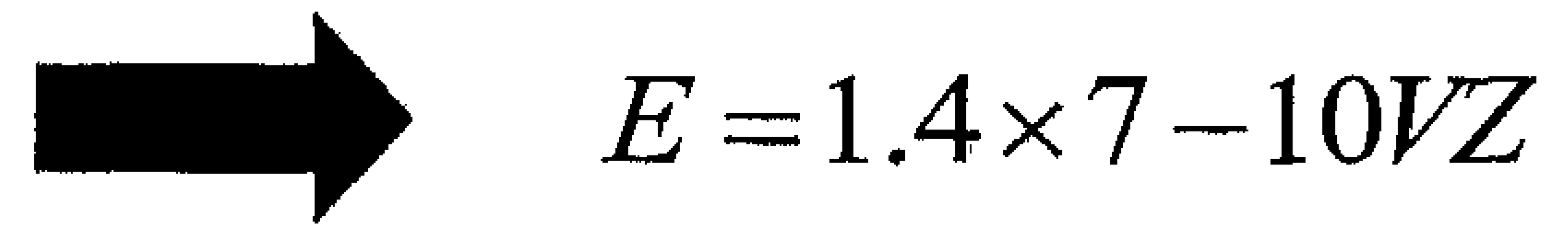
حيث :

V =الفولتية المسلطة على أنبوبة الأشعة الكاثودية.

υ^2= مربع سرعة الإلكترون المعجل.

حيث نرى إن التيار الإلكتروني المنبعث من الفتيل الحراري الساخن هو دالة لحرارة هذا الفتيل أي أنه كلما زادت درجة حرارة الفتيل كلما زاد انبعاث إلكترونات وبالعكس وفائدة الأنبوب أو الكأس المحيط بالكاثود هو يعمل على تركيز (Focusing) إلكترونات عند نقطة على القرص أو الهدف يكون

فيه فرق جهد عالي بين الكاثود والآنود (الهدف) وتعطي كفاءة الحصول على الأشعة السينية من التيار إلكتروني بالمعادلة:



$$E = 1.4 \times 7 - 10VZ$$

حيث:

E = النسبة المئوية للكفاءة.

Z = الرقم الذري للمادة المعدنية (الهدف).

V = فرق الجهد بين الكاثود والأنود.

فمثلاً تكون كفاءة الحصول على الأشعة السينية منخفضة إذا كان هناك فرق جهد منخفض فإذا كان الجهد (300) كيلوفولت يكون [3%] من طاقة إلكترونات قد تحول إلى أشعة (x)، أما باقي الطاقة المفقودة فتكون على شكل حرارة تسخن الآنود (الهدف النحاسي) في الأنبوبة، لذا لابد من تبريد الهدف باستمرار أما بواسطة الماء أو الزيت أو مروحة. ويتم في التصوير الإشعاعي أن يكون منبع التصوير "الأشعة السينية" عبارة عن نقطة ويتم ذلك بواسطة التحكم في الفتيل الحراري ولكأس المركز للإلكترونات ولكن هذا يعقد مشكلة التبريد لأن الحرارة سترتفع. ويكون التيار المستخدم في الفتيل الحراري يتعرض جهد (6 – 15) فولت وتيار مستمر(3 – 5) أمبير.

3.3 الطيف المستمر

يحدث الطيف المستمر نتيجة فرملة إلكترونات المعجلة التي تصطدم بالهدف حيث ينجم عن عملية الاستبطاء انبعاث طاقة عالية مناسبة مع الطاقة الحركية للإلكترونات الساقط المعجل ولا يحدث أن تستبطأ جميع الإلكترونات بالطريقة نفسه فبعضه يتوقف دفعة واحدة عند أول تصادم حيث يفقد طاقته بالكامل، بينما يخترق البعض الآخر عن مساره نتيجة الارتطام

بذرات الهدف، ويفقد نسبة من طاقته على مراحل متعاقبة تنتهي باستنفاذ هذه الطاقة الحركية، وينتج عن جميع تلك الإلكترونات المتوقفة بالتصادم فوتونات ذات طاقة عظمى "أشعة x" متفاوتة الطول الموجي.

4.3 الطيف المميز

إن سبب وجود هذا الطيف يكمن في ذرات الهدف نفسه، وحتى يمكن تفهم هذه الظاهرة بالرجوع إلى حقيقة تكوين الذرة، فهي تتألف من الذرة المركزية يحيط بها إلكترون في مدارات خاصة مثل (O, N, m, L, k). فإذا ما كان أحد الإلكترونات التي تصطدم بالهدف يحمل قدراً كافياً من طاقة الحركة فأنها تنجح في خلع إلكترون من الغلاف k مخلفاً الذرة في حالة ذات مستوى طاقة مرتفع، الطاقة اللازمة لجعل مثلاً الموليبيديوم في حالة إنارة هو 25 kv والنحاس 30 kv. وبعد ينقل في التواحد إلكترونات الخارجية من المدارات (O, N, M, L, K) ليملأ الفراغ الناشئ في الغلاف k ونتيجة هبوط إلكترون إلى غلاف k تنبعث طاقة (x-ray) خلال هذه العملية وبالتالي تعود الذرة إلى حالة استقرار والطاقة المنبعثة (x-ray) لها طول موجي محدد للمستوي k. هناك علاقة بين تردد الأشعة المنبعثة والعدد الذري للمادة (علاقة موسلي) :

$$\sqrt{F} = \alpha_3 (z - \alpha_4)$$

حيث :

α_3 ، α_4 = ثوابت .

أي أن الطول الموجي يتناقص كلما زاد العدد الذري لمادة الهدف. وأن شدة هذا الإشعاع ذو تردد F علاقة تحدد فولتية الأنبوبة الكاثودية وجهد الإنارة للمادة.

$$A = \alpha_3 I(\nu - \nu_0)^n$$

حيث:

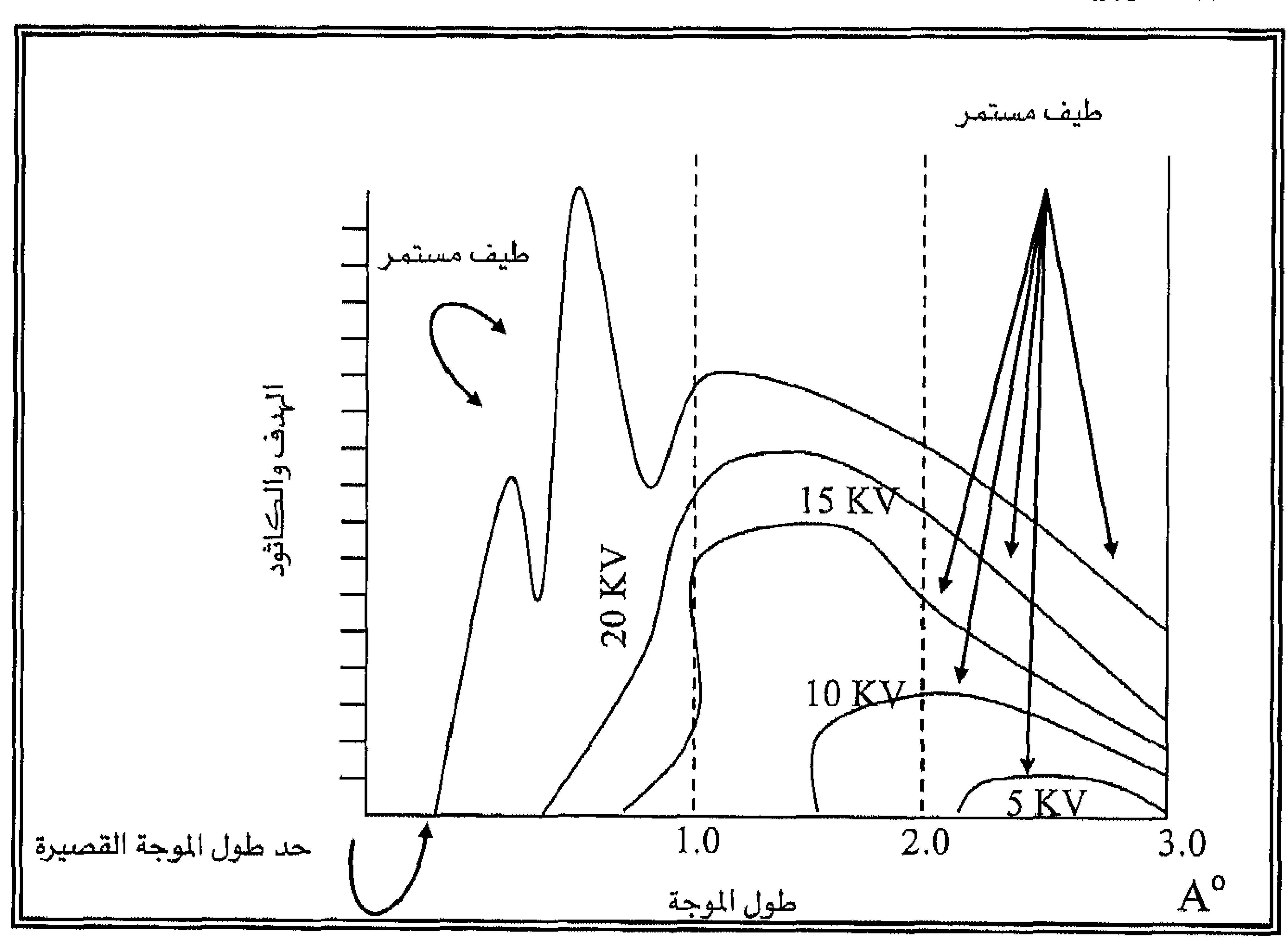
A = الشدة .

α_3 = ثابت .

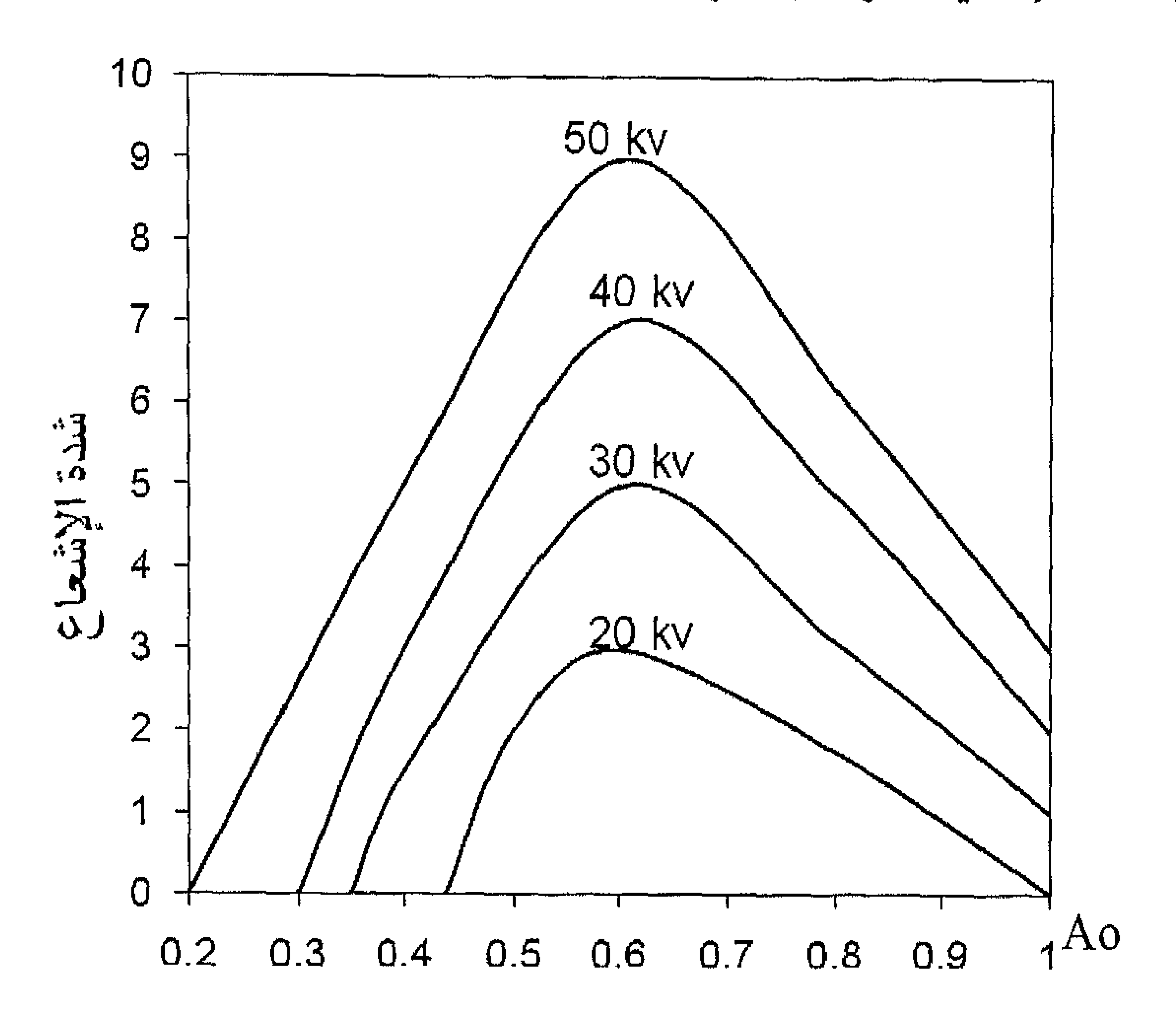
ν = فرق الجهد

ν_0 = جهد الإثارة للمادة.

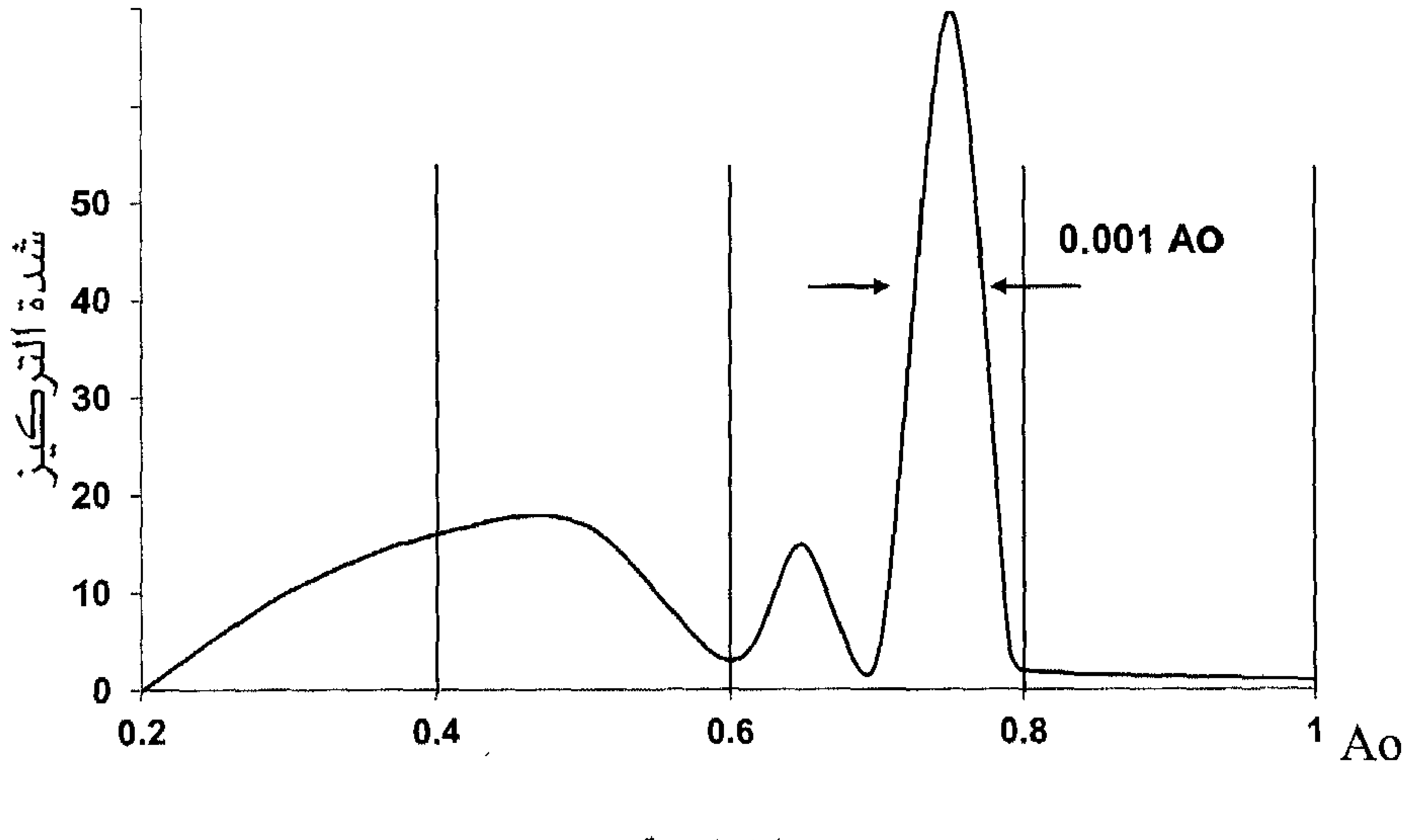
n = 1.5 .



شكل (8) :العلاقة بين فرق الجهد وطول الموجة المتولدة لمادة الموليبديوم



شكل (9) طيف الأشعة الناتج من سطح التنكستن عند فرق جهد مختلف



شكل (10) يوضح طيف المولبيديوم عند جهد.350 kv

5.3 طول موجة الأشعة السينية وجهد الإنبوبة

إن الإلكترون الذي يصل إلى الأنبوبة (الآنود) بعد مروره خلال فرق جهد قدره (V) سوف يكسب طاقة حركية قدرها T = ev وهي بصيغة الحال أقصى طاقة يمكن للإلكترون أن يكسبها ، حيث أن جميع الطاقة تتحول إلى فوتونات نحصل على:

$$h\nu_{\max} = T$$

$$\nu_{\max} = \frac{C}{\lambda_{\min}}$$

$$h = \frac{C}{\lambda_{\min}} = ev$$

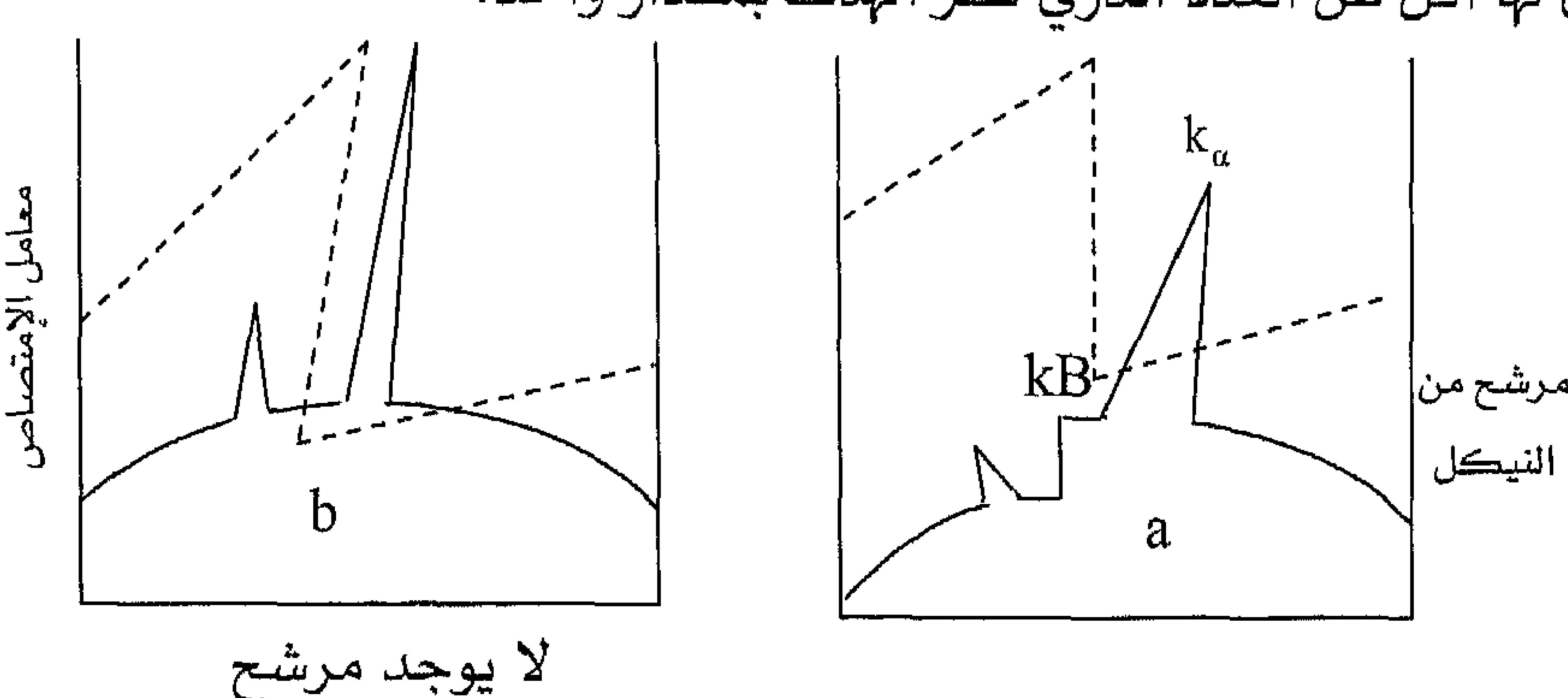
$$\lambda_{\min} = \frac{hC}{ev} = \frac{1.24\times10^{-6}\,v.m}{V}$$

توصل إلى هذه العلاقة كل من [Hunt , Duane] بأن $\lambda_{\min}$ يتناسب عكسياً مع الفولتية المسلطة بين الكاثود والانود.

6.3 المرشحات

لو سقطت أشعة سينية طولها الموجي (2.5Å) من هدف النحاس من أحد صفائح النيكل وأن الطول الموجي هذا يتناقص تدريجياً وكلما تناقص الطول الموجي ازداد التردد وتزداد طاقة الفوتون وبالتالي اختراق الأشعة خلال المادة أسهل وعند انخفاض الطول الموجي عن القيمة الحرجة (λ_k=1.42Å)مباشرة لنيكل فأن قيمة معامل الإمتصاص ترتفع فجأة إلى ثمانية أمثال قيمتها.

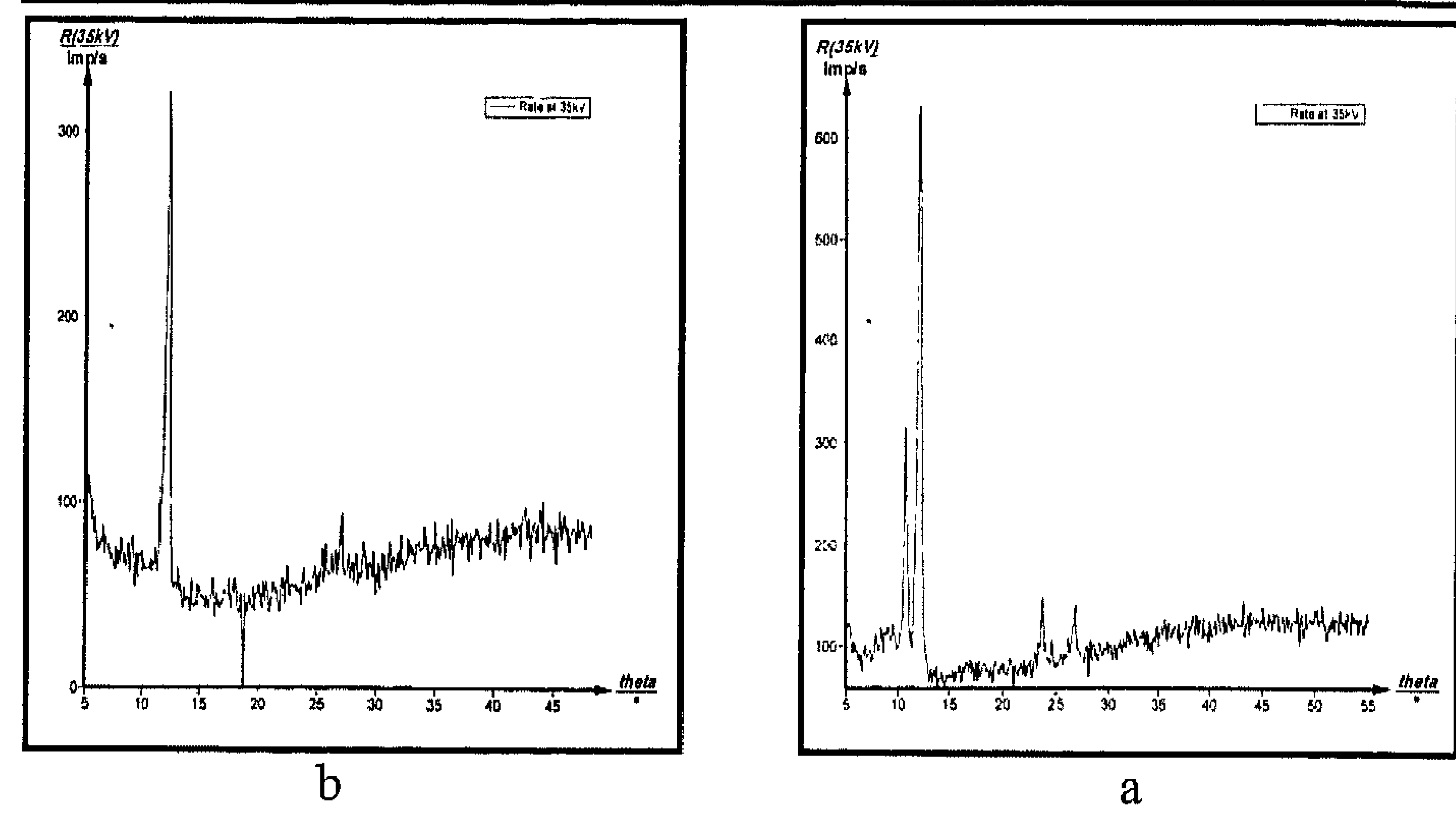
وعليه فأن الأشعة الصادرة من أنبوب الأشعة السينية تعمل عند جهد أعلى من (Vk) لا تشّمل الخط القوي (k_α) بل تشمل (kB) بالإضافة إلى الطيف المستمر وتمكين اختزال الضوء (الخطوط) وغير المرغوبة بالنسبة إلى شدة الخط المرغوب(k_α) بامرار الحزمة الأشعة خلال مرشح من مادة تضع حافة الإمتصاص لها بين طول الموجتين(k_α) و(kB) لفلز الهدف مثل هذه المادة سوف يكون العدد الذري لها أقل عن العدد الذري لفلز الهدف بمقدار واحد.



شكل (11) : فلترة x-ray المتولدة من هدف نحاسي بوجود مرشح النيكل

وكلما ازداد سمك المرشح كلما انخفضت نسبة شدة تركيز (k_α) و(kB) في حزمة الأشعة المارة ولكن لا يمكن الحصول على إشعاع أحادي الشكل مهما بلغ سمك المرشح. كلياً أن خفض شدة الإشعاع (k_α) نصف قيمتها الأصلية تؤدي إلى خفض النسبة بين شدة الإشعاع (kB) إلى (k_α) من حوالي (1/9) في الأشعة الساقطة إلى (1/500) في الأشعة النافذة. ويستخدم المرشح على هيئة رقائق، إذا كانت صعوبة استخدام رقائق فلزية فنستخدم أكاسيد الفلز حيث يخلط مسحوق الأوكسيد مع مادة لاصقة مناسبة حيث ينتشر على ورقة ملائمة ويمكن الحصول على الوزن المطلوب من كل فلز بالنسبة لوحدة المساحة.

الهدف	المرشح الفلز	حزمة الأشعة الساقطة k_α/kB	سمك المرشح $\mu mg/$	سمك المرشح	$\frac{k_\alpha \text{ النافذة}}{k_\alpha \text{ الساقطة}}$
موليبديوم	زركونيوم	5.4	70	0.0043	0.3
نحاس	نيكل	7.5	18	0.0008	0.42
كوبلت	حديد	9.4	13	0.0006	0.47
حديد	منغنيز	9	12	0.006	0.47
كروم	فاناديوم	8.5	9	0.0006	0.48



b a

شكل (12) :حيود الأشعة السينية من بلورة *KBr* .a بدون فلتر .b بوجود فلتر

7.3 مميزات الأشعة السينية

هنالك مجموعة من المميزات والصفات التي تتميز بها الأشعة السينية يمكن إدراجها كالتالي :

1- هي أشعة كهرومغناطيسية لا تتحرف في المجالات الكهرومغناطيسية.

2- لها تردد عالي جداً.

3- نفاذة في جميع المواد.

4- معامل انكسارها يضرب (1) بانكسارها لا يلاحظ.

5- يعتمد إمتصاصها خلال المادة على طاقتها أو جهد أنبوبة التوليد وعلى كثافة الوسط وسمكه.

6- لا توهج المواد الفسفورية (سيانيد الباريوم والبلاتين) ولذلك ZnS وتؤثر على الأفلام الفوتوغرافية وتأين الهواء.

8.3 الوقاية والسلامة الصناعية(تدابير الأمان)

يتعرض العامل على أجهزة الأشعة السينية إلى خطرين أساسيين هما :

1- ويكون خطر الصدمة الكهربائية في أجهزة الضغط العالي ويمكن الخطر عند نهاية المهبط ولذلك يجب أن يكون المهبط تحت مستوي منضدة التشغيل أو داخل صندوق واقي ويجب في التصميم وجود ضمان لفصل الدائرة عن ملامسة العامل لمواضع الضغط العالي.

2- يكون خطر الإشعاع على قدرة (x-ray) على اختراق وتدمير الأنسجة الحية وهي القدرة المستفادة لتدمير خلايا السرطان وتكون خطر الإشعاع في الحروق (لتركز في مساحة صغيرة) يسهل إمتصاصها في الجسم وينقل الإشعاع الأمراض الوراثية، تكون الأشعة الناتجة عن الحيود بالغة الضرر لكبر الطول الموجي، هناك كمية حرجة السماح له في الجسم فإذا زاد الإشعاع عن الكمية الحرجة فأنه يؤدي إلى انخفاض كريات الدم البيض لذلك يجب إجراء تحليل دوري لعدد كريات الدم.

9.3 الفحص الهندسي اللاإتلافي للمواد والعدد

يتم عادة الفحص باستخدام الأشعة السينية وفق ثلاث مبادئ أو طرق :

1 - إعتماد مبدأ إمتصاص الأشعة السينية .

2 - إعتماد مبدأ حيود الأشعة السينية .

3 - إعتماد مبدأ التهيج أو الفلورة للمادة بواسطة الأشعة السينية.

1 - إعتماد مبدأ الإمتصاص.

عندما تمر حزمة من الأشعة السينية خلال مادة تصبح شدة الحزمة الخارجة أقل من شدة الحزمة الساقطة على سطح المادة، ويتوقف مقدار النقص في الشدة على مقدار التغير في السمك (dx) من المادة وشدة الحزمة الساقطة I

$$-dI = \mu I dx$$

حيث :

μ= معامل الإمتصاص الخطي وهو ثابت التناسب .

وعند تكامل المعادلة:

$$-dI = \mu I dx \Rightarrow -x\mu = [\ln I]_{I_0}^{I}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

حيث:

I_0 = شدة الحزمة الساقطة.

I = شدة الحزمة الخارجة.

وأن السمك اللازم لتقليل شدة الحزمة الساقطة إلى النصف يسمى بالسمك النصفي $(X_{\frac{1}{2}})$.

عندما تكون $x=(X_{\frac{1}{2}})$

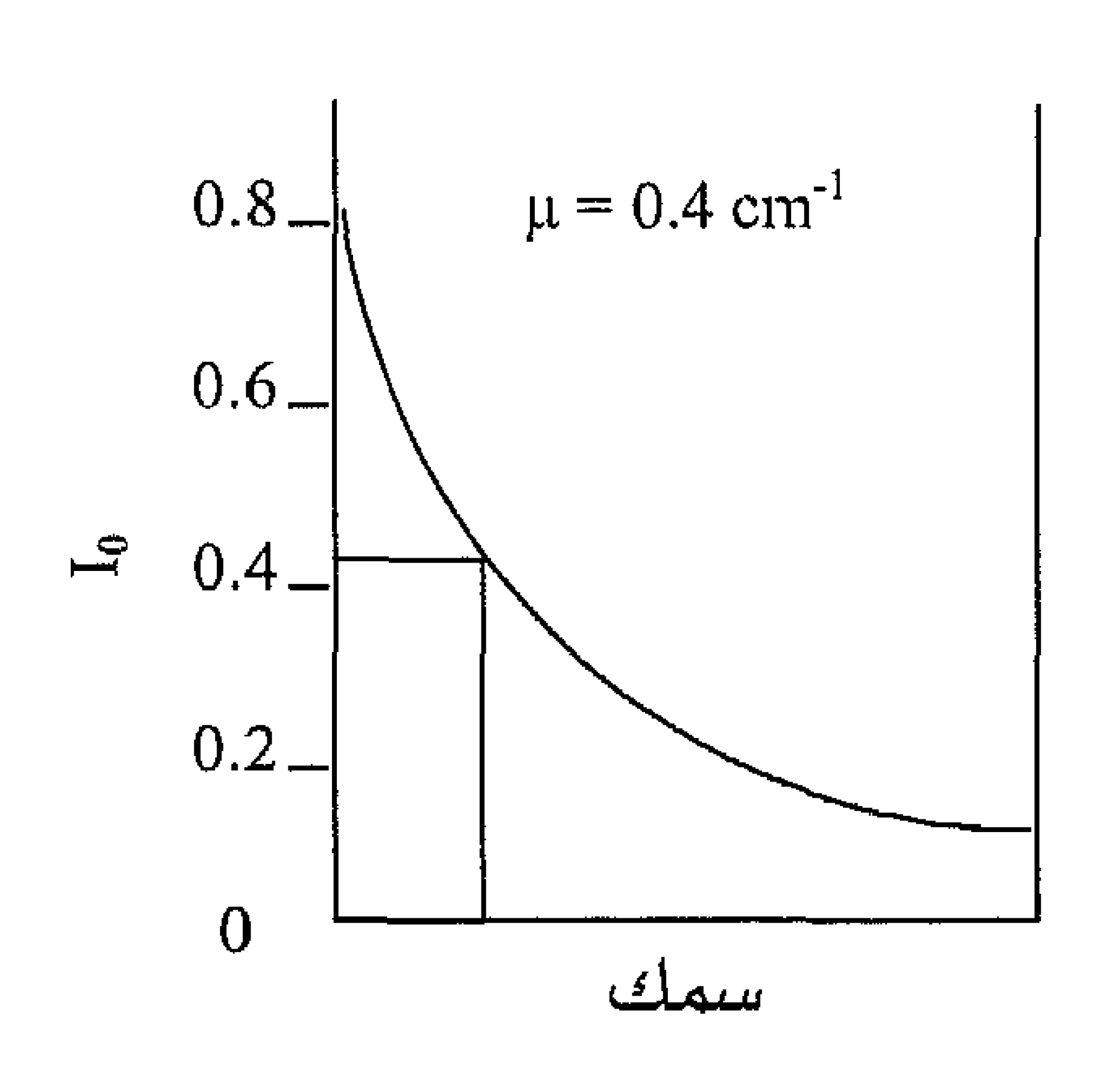
تكون :

$I=\frac{1}{2}I_0$

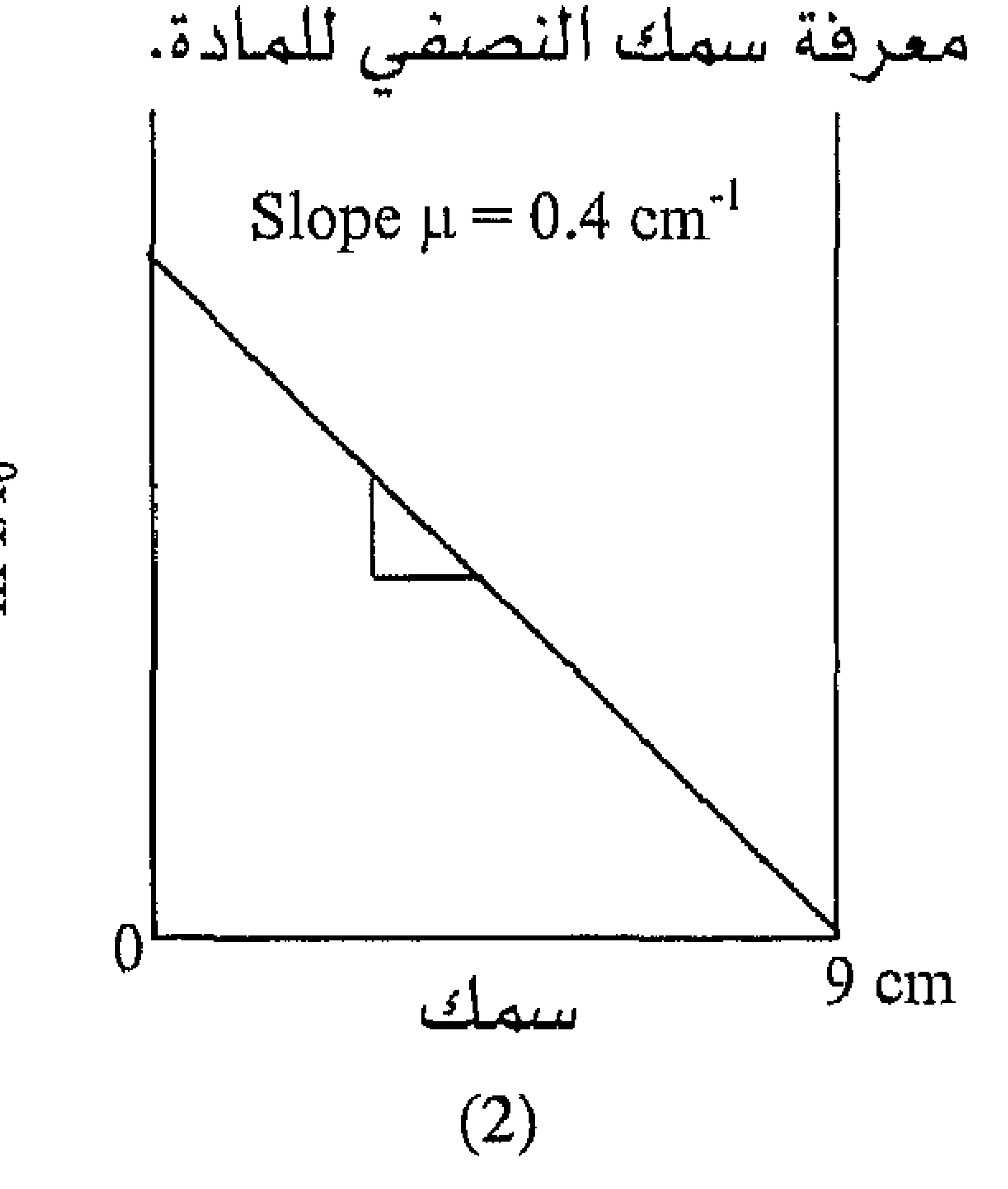
ونعوض في المعادلات أعلاه ونحصل على :

$$\frac{1}{2}I_0 = I_0 e^{-\mu x} \Rightarrow \ln ½ = \mu x$$

وعليه يمكن تحديد معامل إمتصاص المادة مباشرة $(\mu=0.693/x)$ بعد معرفة سمك النصفي للمادة.



(1)



(2)

شكل (15) : العلاقة بين الشدة للحزمة وسمك المادة بحيث معامل الإمتصاص $\mu = 0.4$

حيث نلاحظ ميل الخط المستقيم في رسم (15 : 2) ميل (μ) يعني أن الكثافة تقل بكسور متساوية أي أن السمك المعطى للمادة يقلل الكثافة إلى النصف فأن مضاعفة السمك يقلل الشدة إلى الربع.

ويتم إمتصاص الأشعة من قبل ذرات المادة بـ:

1 - تأثير كومبتن (ويسمى التشتت Scatter) : وفيه يفقد الفوتون قسم من طاقته بالتصادم مع إلكترونات الذرة مما يجعلها تتذبذب اصغراراً تتسع طاقة إلى جميع الجهات.

2 - الإمتصاص الحقيقي وهو على نوعين :

a. التأثير الكهروضوئي: وفيه يفقد الفوتون كل طاقته محرراً (e) من الإلكترونات في ذرة من الذرات الأخرى لانتقال المدار الذي أزيح منه إلكتروناً وبالتالي يبعث إشعاع.

b. إنتاج زوج إلكترون - بوزترون: تتضمن هذه العملية تفاعل الفوتون مع المجال الكهربائي القوي للنواة متحولاً إلى زوج إلكترون بوزترون ولكي ينتج هذا الزوج يجب أن تكون طاقة الفوتون الساقط أكبر من مجموع الطاقة السكونية للزوج المتكون أي أن الذرات تمتص جزءاً من الطاقة ثم تتسع نوعاً جديداً من الأشعة يسمى الإشعاع الفلوروسيني.

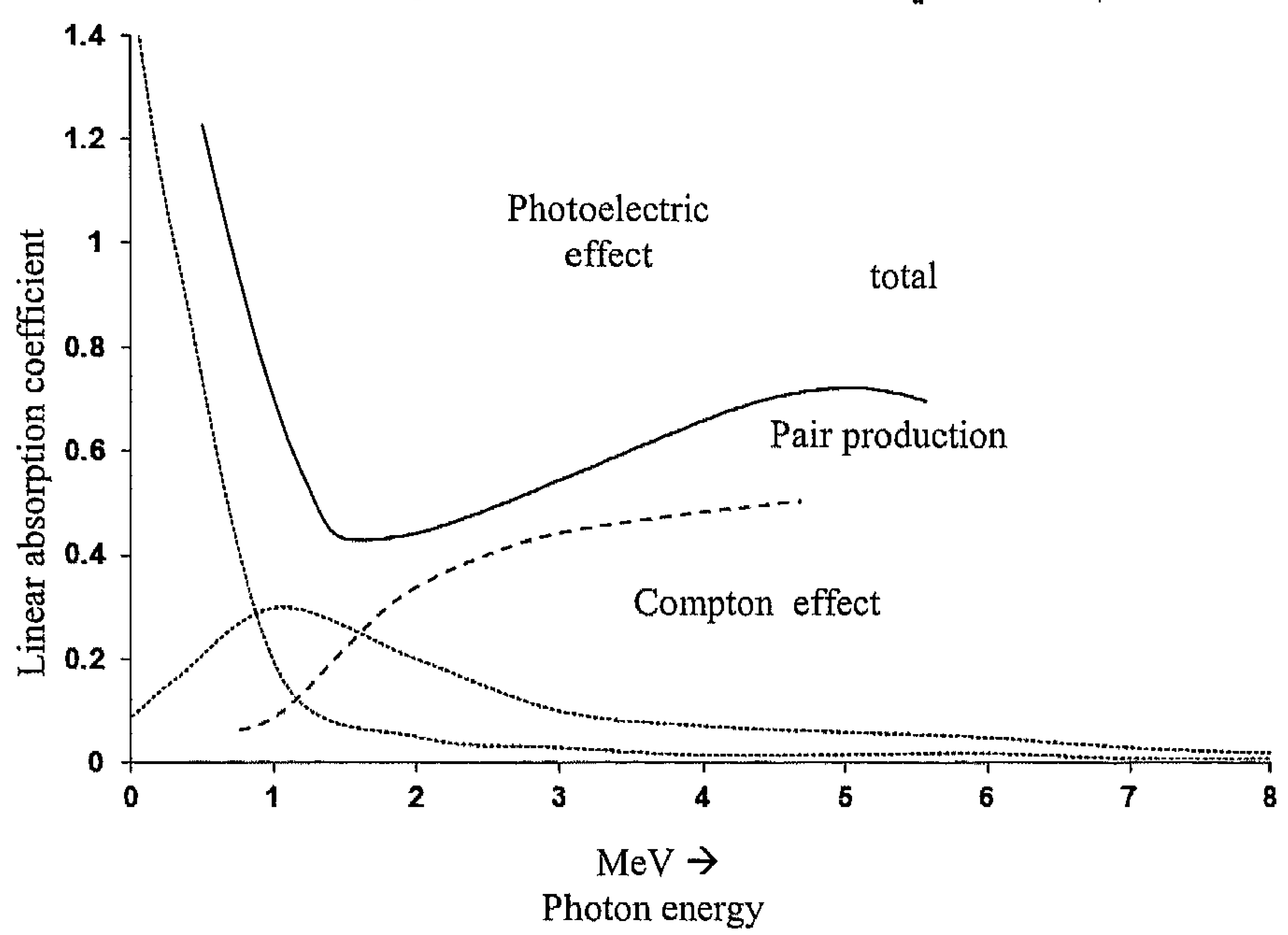
ويكون دور التشتت مهماً عن الطاقات الواطئة لأنه لا يوجد شرط محدد هذه الظاهرة، أما التأثير الكهروضوئي لا يحدث إلا أن تكون طاقة الفوتون الساقط أكبر من دالة الشغل للمادة. أما الفلورة فيجب أن تكون طاقة الفوتون (1.02 Mev) أكبر من مجموع الطاقة السكونية للإلكترون البوزوتروني. ويتضح ما يلي:

a. إذا كان الإمتصاص السائد في الظاهرة الكهروضوئية وهذا ما يحدث في الطاقة الواطئة للفوتون فأن العظام تمتص ما يعادل ستة أضعاف ما تمتصه الأنسجة للجسم.

b. إذا كان الإمتصاص بواسطة كومبن هو السائد فأن الغرام الواحد من العظام يمتص نفس القدر في الأنسجة.

c. إذا كان الإمتصاص بواسطة النوع الثالث فأن غرام من العظام يمتص ضعف ما تمتصه الأنسجة.

والرسم التوضيحي أدناه يمثل الإمتصاص للأنواع الثلاثة.



شكل (16) : عمليات إمتصاص x-ray

معامل الإمتصاص الخطي كدالة لطاقة الفوتون. ويمكن كتابة معامل الإمتصاص الكتلي تبعاً لعمليات الإمتصاص وخاصة التشتت والفلورة (المهمة) كما في أدناه :

$$\mu = \tau + \delta$$

or :

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\delta}{\rho}$$

حيث:

δ= معامل التشتت

τ= التحول الفلوريني.

(μ/ρ) = معامل الإمتصاص الكتلي .

معامل الإمتصاص الكتلي هي خاصية مميزة للمادة ويمثل جزء الطاقة الذي يزيحه غرام واحد من المادة من حزمة مقطعها وحدة معينة من المساحة. ويتم قياسه لكل المواد كما في الملحق. ومن الضروري معرفة معامل الإمتصاص الكتلي لمادة تتألف من عناصر عدة وبغض النظر عن ماهية هذه المادة كمركب كيمياوي أو مخلوط ميكانيكي أو محلول وكذلك وجودها في حالة صلبة أو سائلة أو غازية فمعامل الإمتصاص الكتلي لها يكون هو المتوسط الوزني لمعاملات إمتصاص الكتلة لمكونات المادة فإذا كانت m1 وm2 هي الأجزاء الوزنية للمادة (1، 2) المكونة للمادة $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1$ ، $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2$ هي معاملات إمتصاص الكتلة المناظرة فأن معامل الإمتصاص الوزني للمادة سوف يكون :

$$\Rightarrow \quad \frac{\mu}{\rho} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2$$

ويعد إسلوب تغير معامل إمتصاص الكتلة مع الطول الموجي مفتاحاً يقود إلى تفسر التفاعلات بين الذرات والأشعة السينية ويتغير معامل الإمتصاص الكتلي تبعاً للعدد الذري للمادة والطول الموجي الساقط.

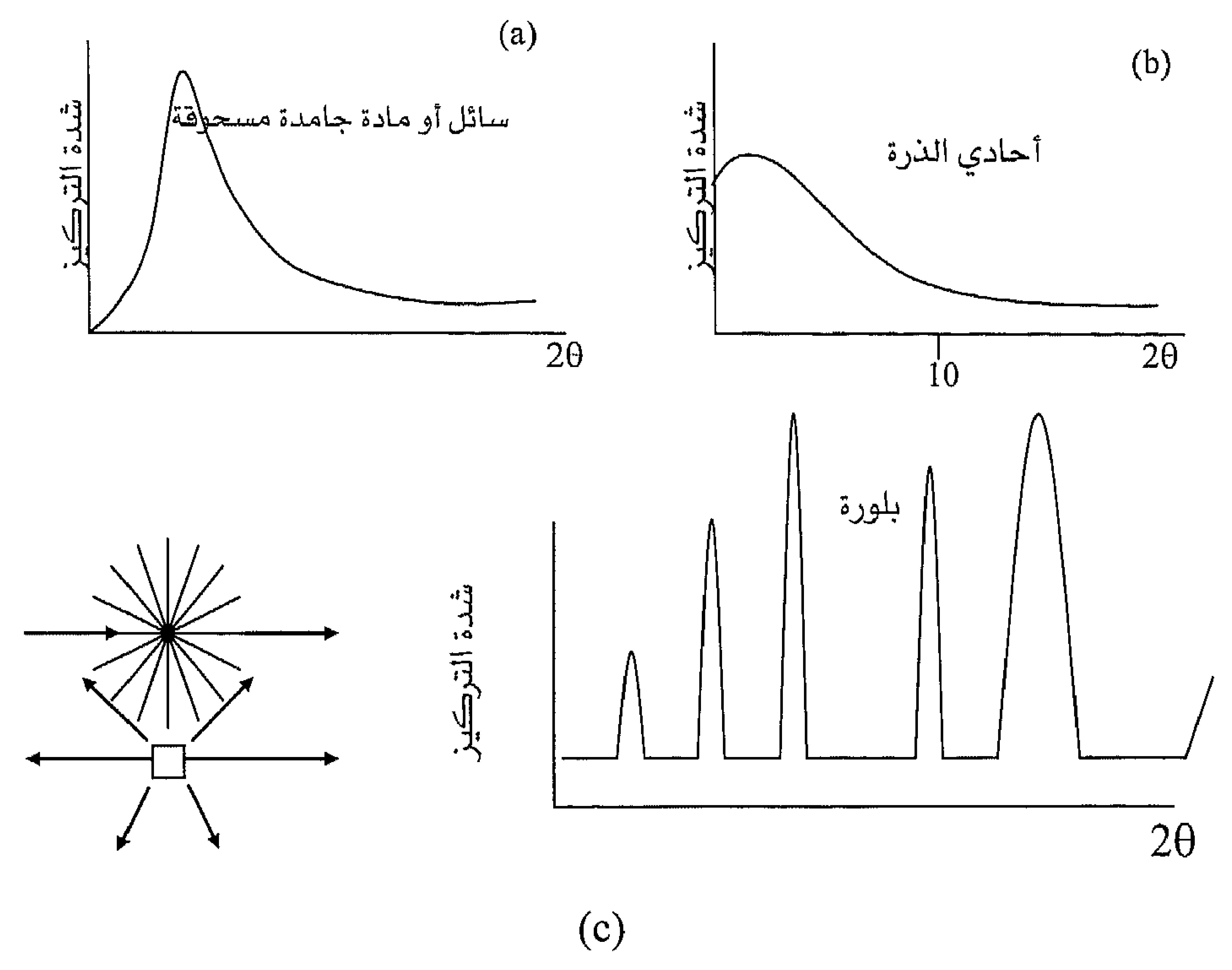
$$\Rightarrow \quad \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \alpha_1(\lambda) z^3$$

التصوير بالأشعة السينية حسب مبدأ الإمتصاص : مبدأ التصوير وهو مشابه تماماً لمبدأ التصوير بالأشعة السينية في المجالات الطبية والمقصود بالتصوير الاشعاعي للكسور .

2 - **إعتماد مبدأ الحيود** .

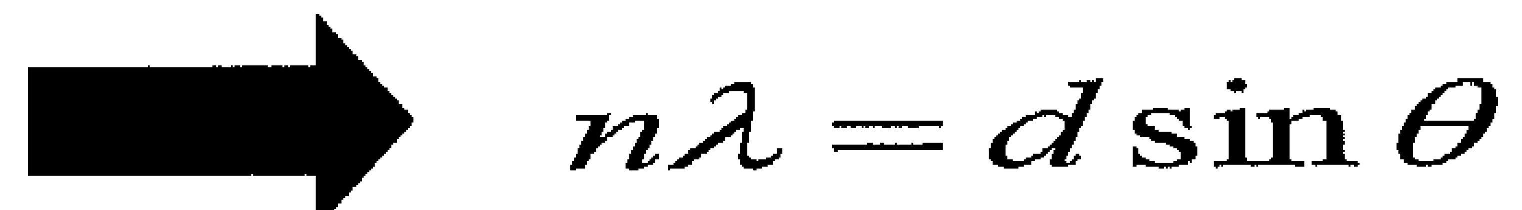
الحيود هو نوع من أنواع التشتت حيث أن ذرة مفردة تقوم بتشتيت حزمة ساقطة من الأشعة السينية في جميع الاتجاهات في الفراغ ولكن عدداً ضخماً من الذرات انتظمت في اصطفاف دوري خام، ويحدث ذلك عادةً لأن الترتيب الذري

(الدوري للذرات) تسبب تداخلاً هداماً في جميع الاتجاهات ماعدا الاتجاهات المنبسطة من قانون بداك حيث يحدث تداخل (بناء) في هذه الاتجاهات.



شكل (17) : إمتصاص x-ray من قبل المواد المختلفة الكثافة والتبلور

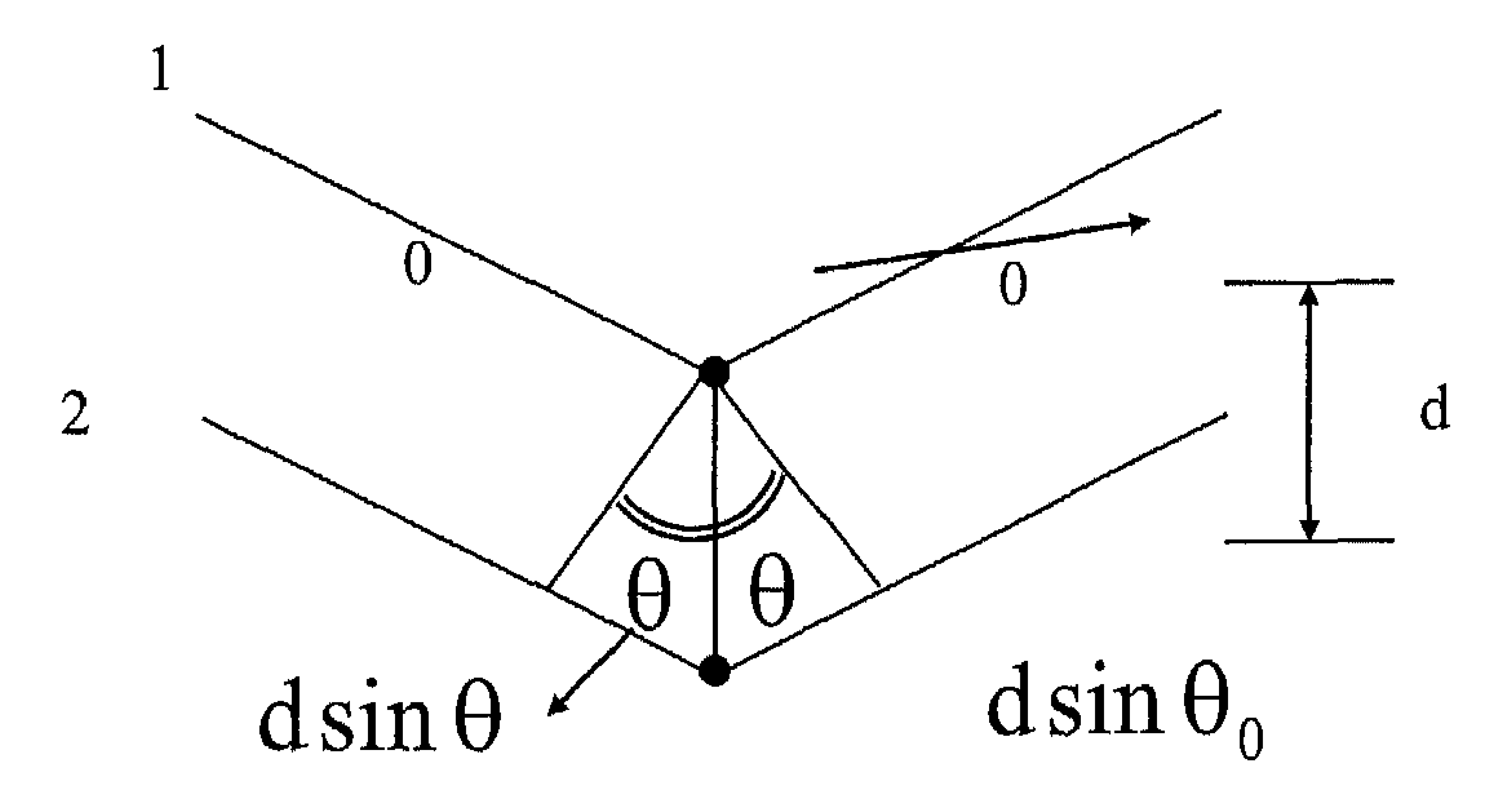
قانون براك:



$$n\lambda = d\sin\theta$$

حيود الضوء من شق :

$$\sin\theta = \frac{\Delta\lambda}{d} = \frac{n\lambda}{d} \rightarrow n\lambda = d\sin\theta$$



شكل (18) : حيود براك في البلورة

وعليه يكون شرط براك لحيود x-ray.



$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

ويمكن إستخراج قيمة (d) المسافة البينية بين المستويات الذرية من الناحية الكيميائية كما يلي :



$$n = 2\frac{atoms}{molecule}\times\rho\times\frac{1}{M_{NaCl}}$$

حيث :

M_{NaCl} : الكتلة الجزيئية =4.45× m-31028



$$n = 2\times2.16\times10^{3}\frac{kg}{m^{3}}\times\frac{1}{9.72\times10^{-26}\ \text{kg/molcule}} = 4.45\times10^{28}m^{-3}$$

$$M_{NaCl} = \text{الوزن الجزيئي}\times\frac{1}{\text{عدد افوكادرو}}$$

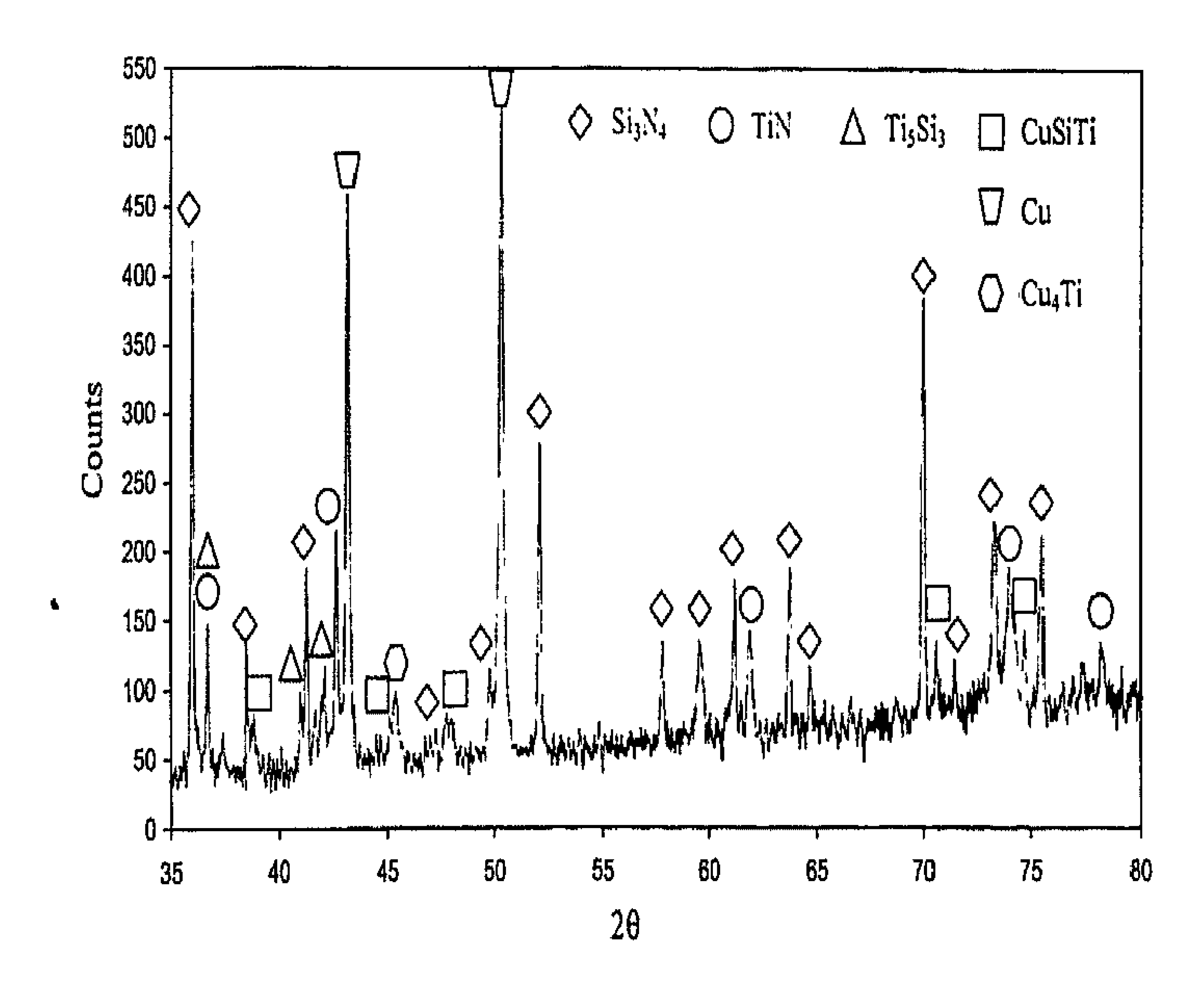
$$= 58.5 * \frac{1}{6.02*10^{26}} = 9.72*10^{26}\ \text{kg/molecule}$$

d = n-3 = [4.45*1028]-3 = 2.82*10-10 m = 2.82 Ao

نماذج من نتائج فحص حيود الأشعة السينية :

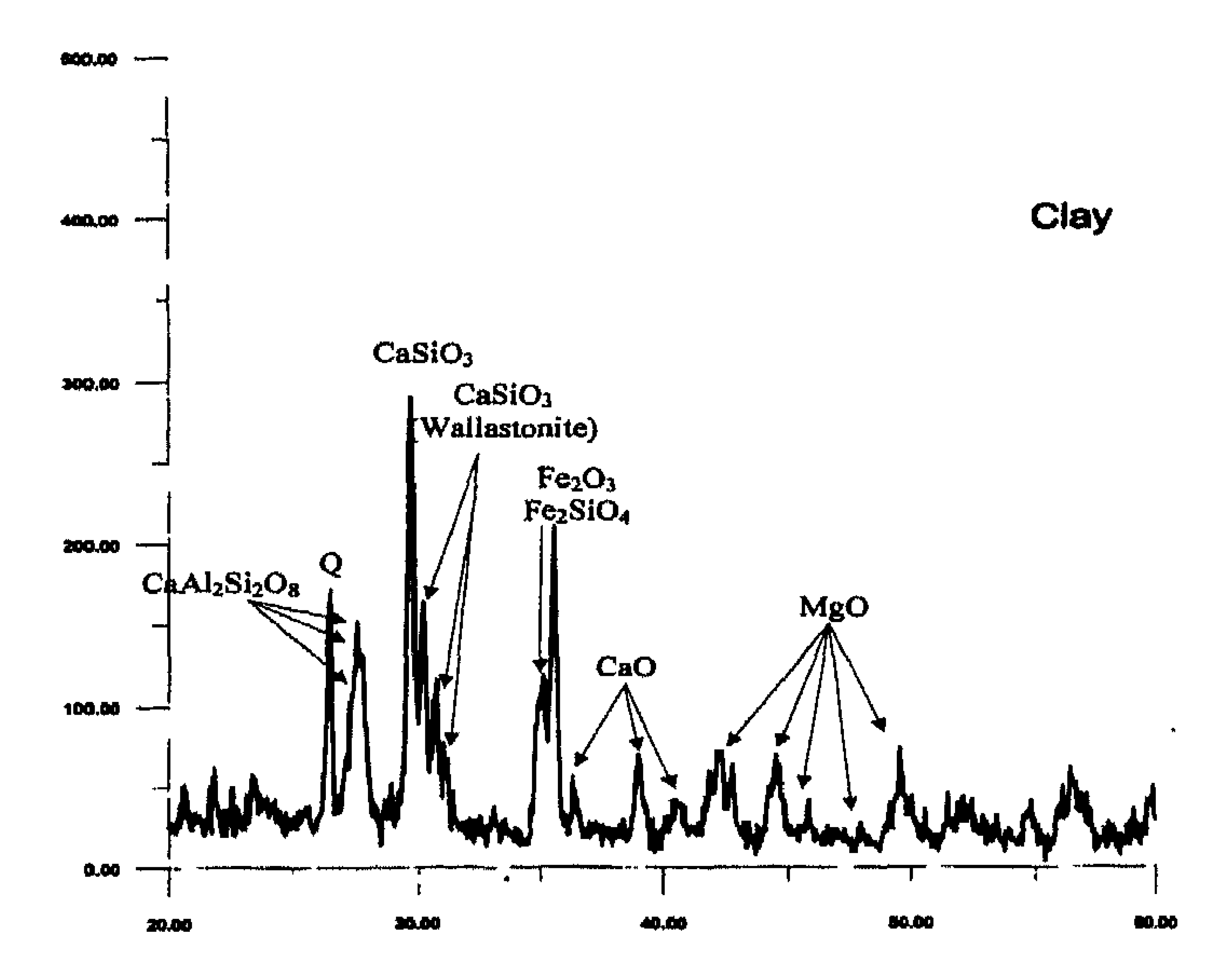
1 -لمسحوق زجاجي: يلاحظ من الشكل التالي ان المادة ليست بلورية وإنما عشوائية التركيب اي عدم الانتضامية في التركيب البلوري.

اذاً بواسطة حيود الأشعة يمكن الكشف والتمييز المواد السيراميكية او الزجاجية او المعدنية حيث نلاحظ في الطور الزجاجي اثناء حيود الأشعة السينية لاتوجد قيم لحيود الأشعة اما في المواد السيراميكية فتظهر لدينا قمم كثيرة ومتعددة عند زوايا الحيود ومتقاربة .



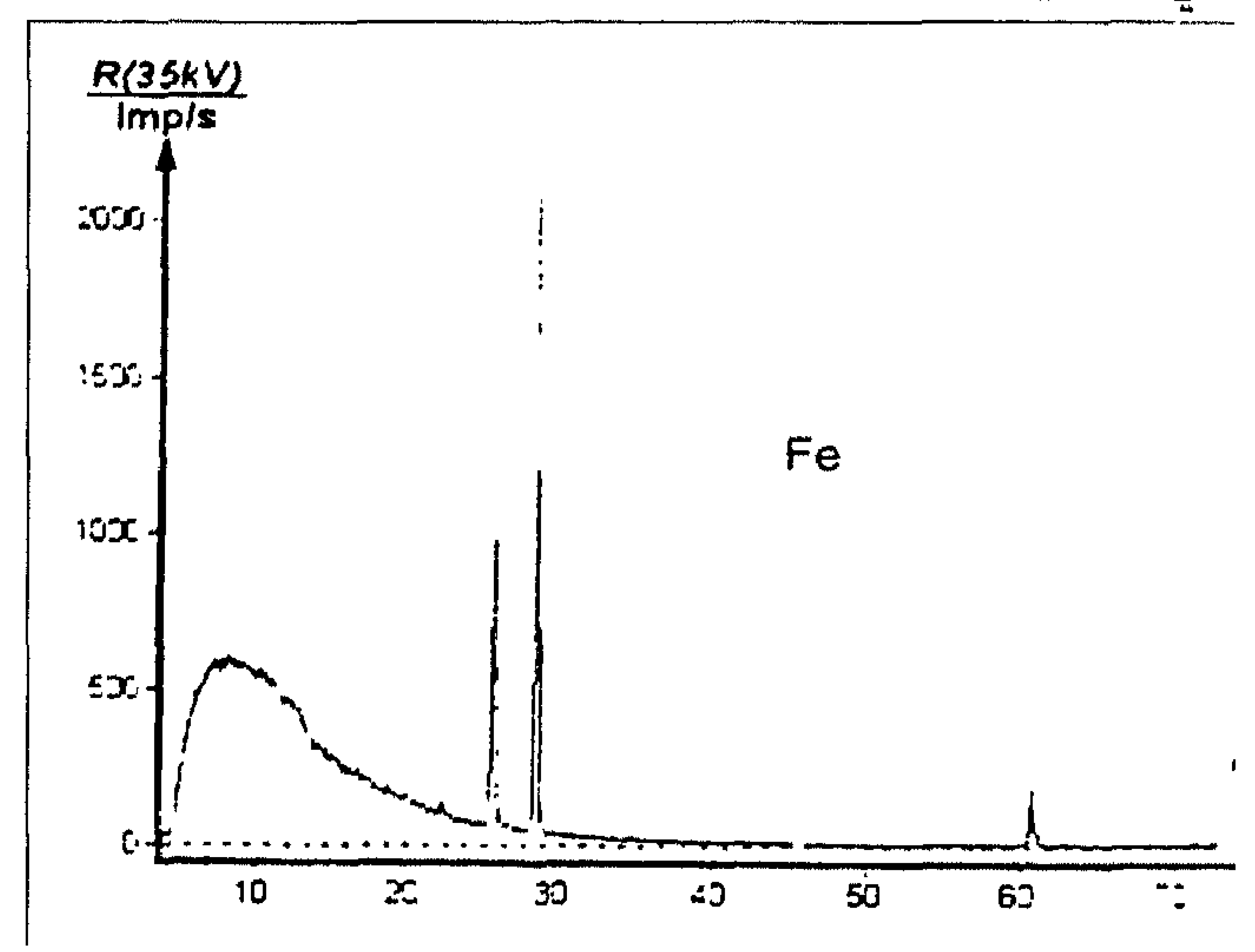
شكل (19): فحص الأشعة السينية لمواد زجاجية

2 - مساحيق السيراميك : وتتكون من أكاسيد متبلورة وبأطوار مختلفة وعليه تكون نتيجة حيود الأشعة السينية بقمم متعدد عند زوايا حيود(2Θ) متعددة ومتقاربة كما في الشكل التالي.



شكل (20): فحص الأشعة السينية لمواد سيراميكية

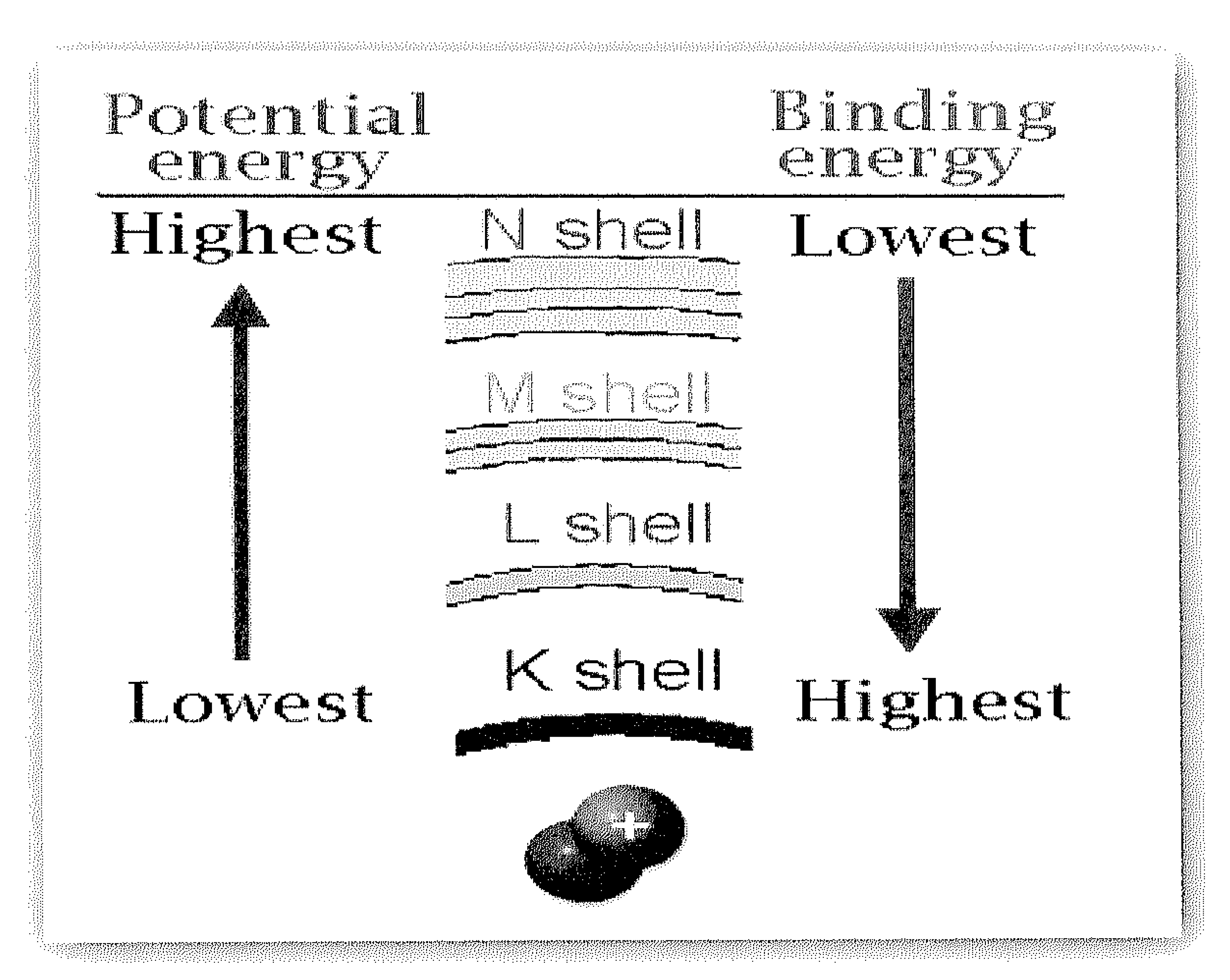
3 - المعادن : لكون المعادن مواد متبلورة بأنظمة مختلفة حسب انظمة التبلور البلوري فيكون حيود الأشعة السينية بقمم متعددة عند زوايا حيودمتباعدة نسبيا حسب طبيعة المعدن او السبيكة كما في الشكل التالي للحديد.



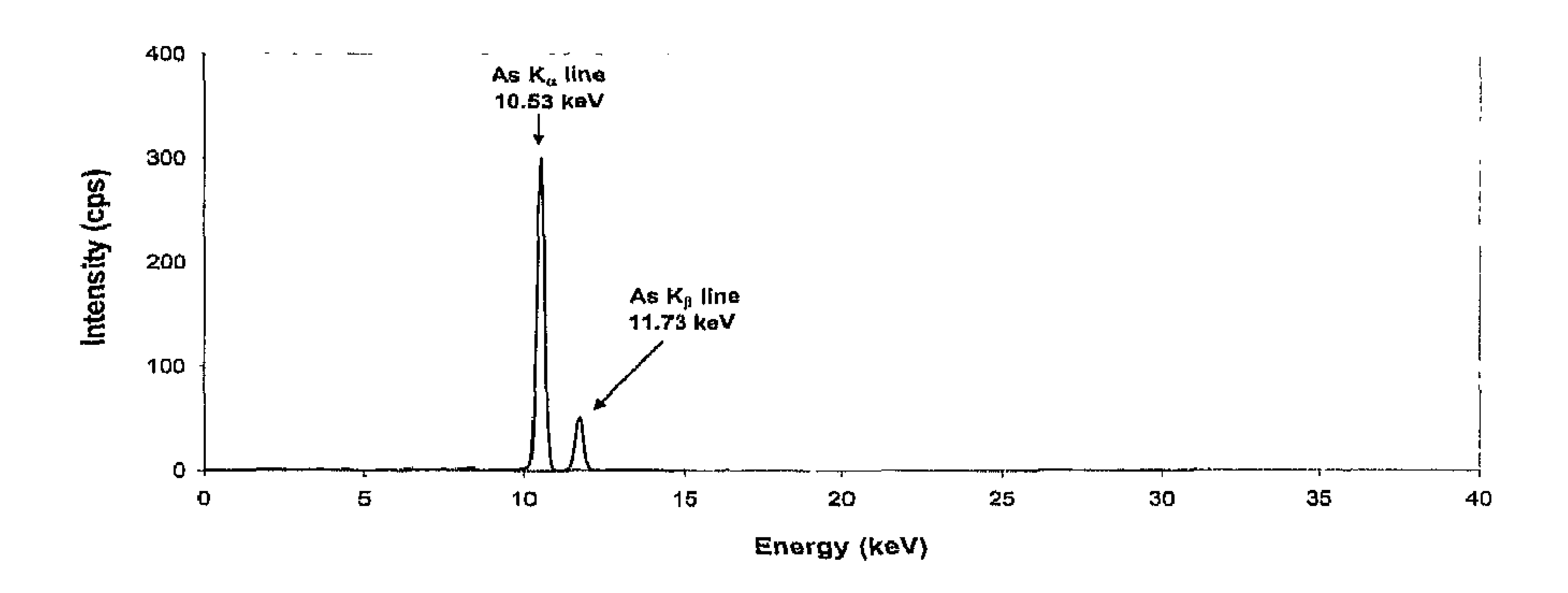
شكل (21): فحص الأشعة السينية لمادة معدنية مثل الحديد Fe.

3 - إعتماد مبدأ الفلورة (الإنارة):

يعتبر مبدأ الفلورة في الأشعة السينية موضوع مهم في التشخيص ومعنى الفلورة في الأشعة السينية هي عند سقوط الأشعة السينية بشدة عالية على مادة ما فان هذه الأشعة الساقطة هي عبارة عن سيل من كمات الطاقة الكهرومغناطيسية عالية التردد سوف تتصادم مع الكترونات المادة فعند إمتصاص الالكترونات في القشرة k-shell كما موضح في الشكل (22) . فسوف يحدث لها تهيج وسف تقفز هذه الالكترونات إلى القشرة N-shell وسرعان ما تهبط إلى القشرة k-shell وبالتالي تشع طاقة ذات قيمة خاصة هذه الطاقة تعتبر هوية للمادة على سبيل المثال اذا تابعنا الشكل (23) .

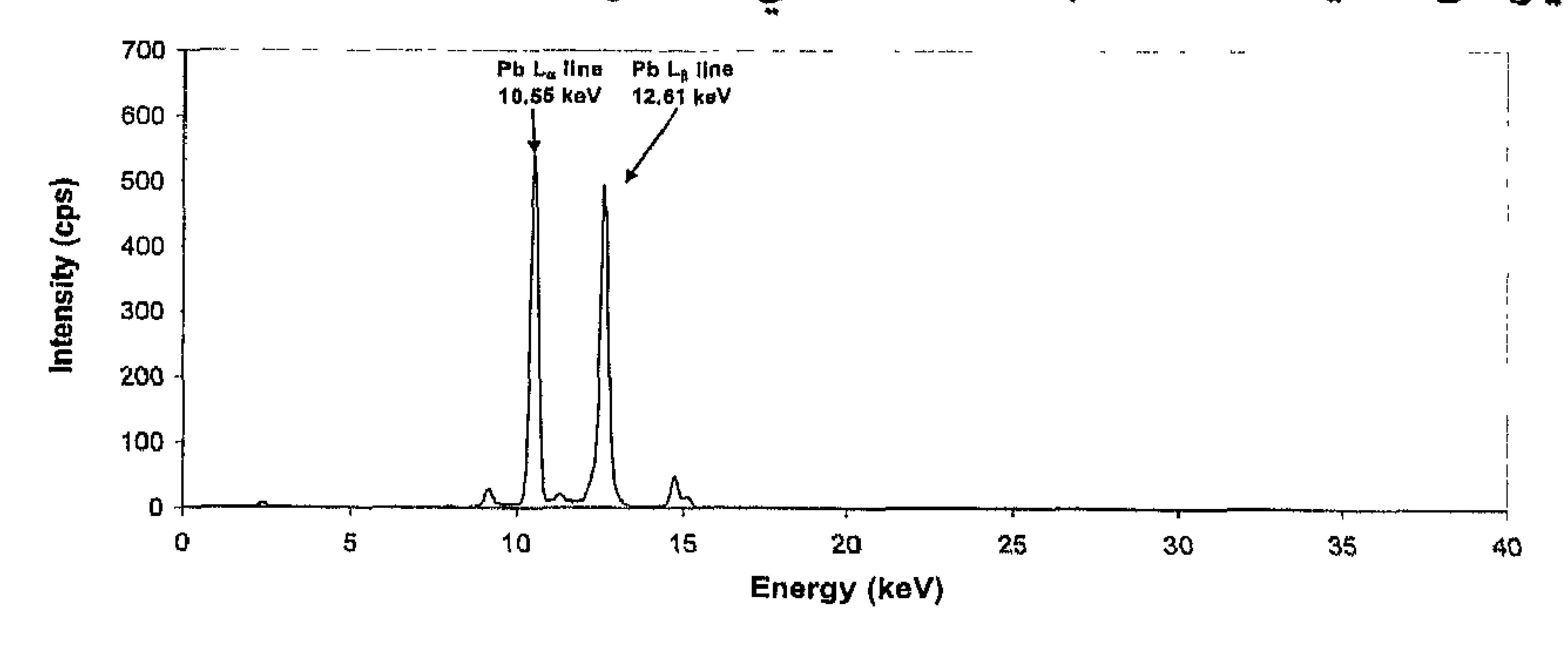


شكل (22): المدارات الالكترونية في المادة

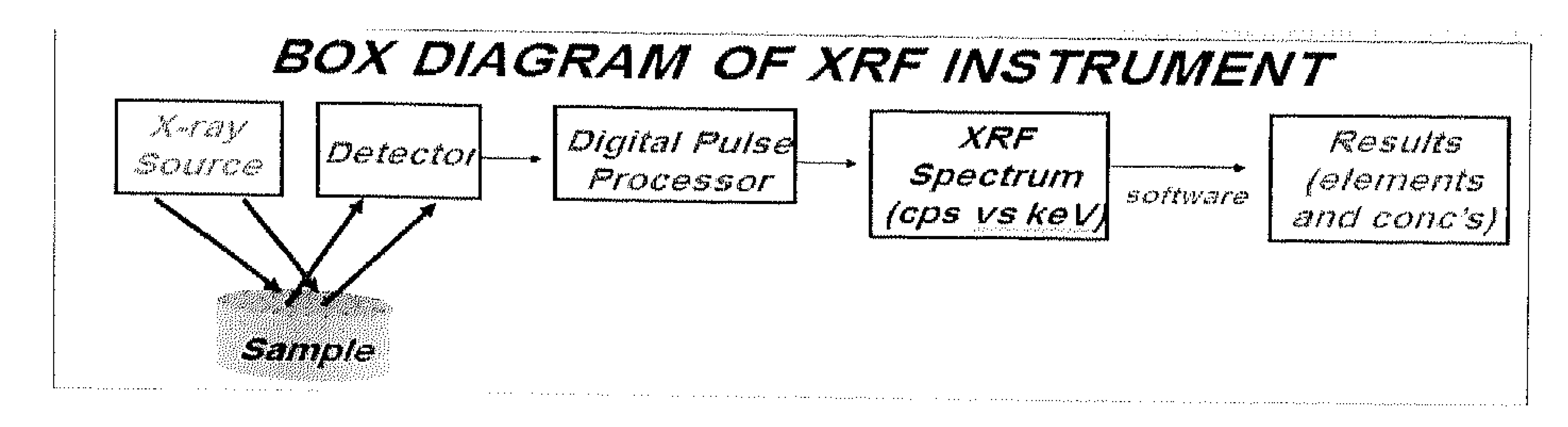


شكل (23): العلاقة بين شدة الإشعاع والطاقة للزرنيخ

ففي هذا الشكل يبين شدة الإشعاع مع طاقته في هذه العينة هي 10% ومن هذا نلاحظ ظهور قمتين واضحتين محصورتين شدة الأولى 10.53 كيلو فولط والثانية 11.73 كيلو فولط ، الأولى تعبر عن الالكترونات المنبعثة من القشرة K-α والقمة الصغيرة هي عن القشرة K-β يكون الفرق بين القمتين بالطاقة تقريبا (± 0.5 kv) . وعندما تكون نسبة الرصاص في نموذج معين 10% كما في الشكل (24)، نلاحظ ظهور قمتين رئيسيتين الأولى عبارة عن الالكترونات المنبعثة من قشرة الرصاص L-α والثانية الالكترونات المنبعثة من L-β وهاتين القمتين تظهر في أطياف XRF لمختلف أنواع الرصاص وممكن التعبير عن عملية الـ XRF بالمخطط التالي شكل (25) .

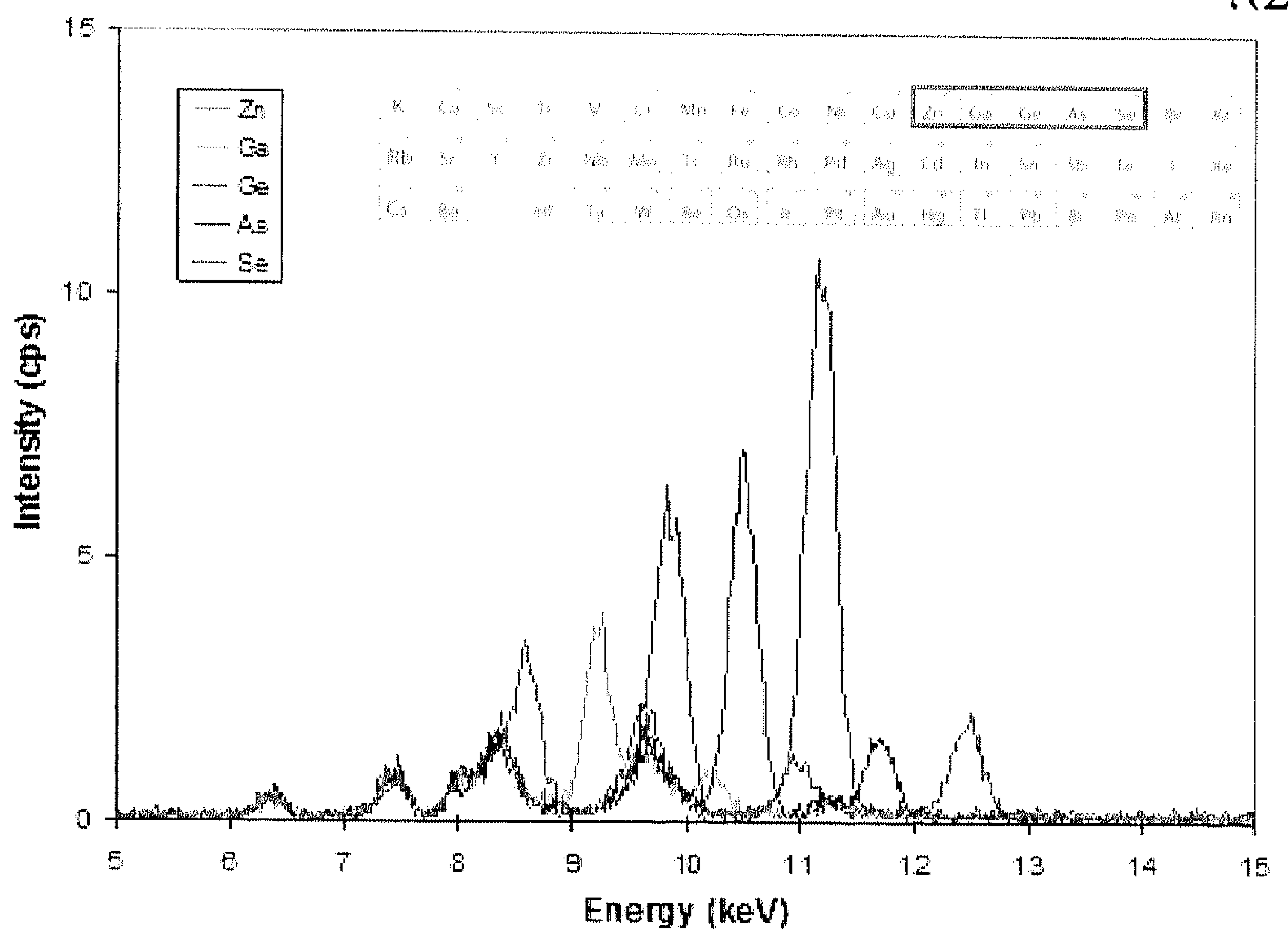


شكل (24): العلاقة بين شدة الإشعاع والطاقة للرصاص



شكل (25): عملية الـ XRF .

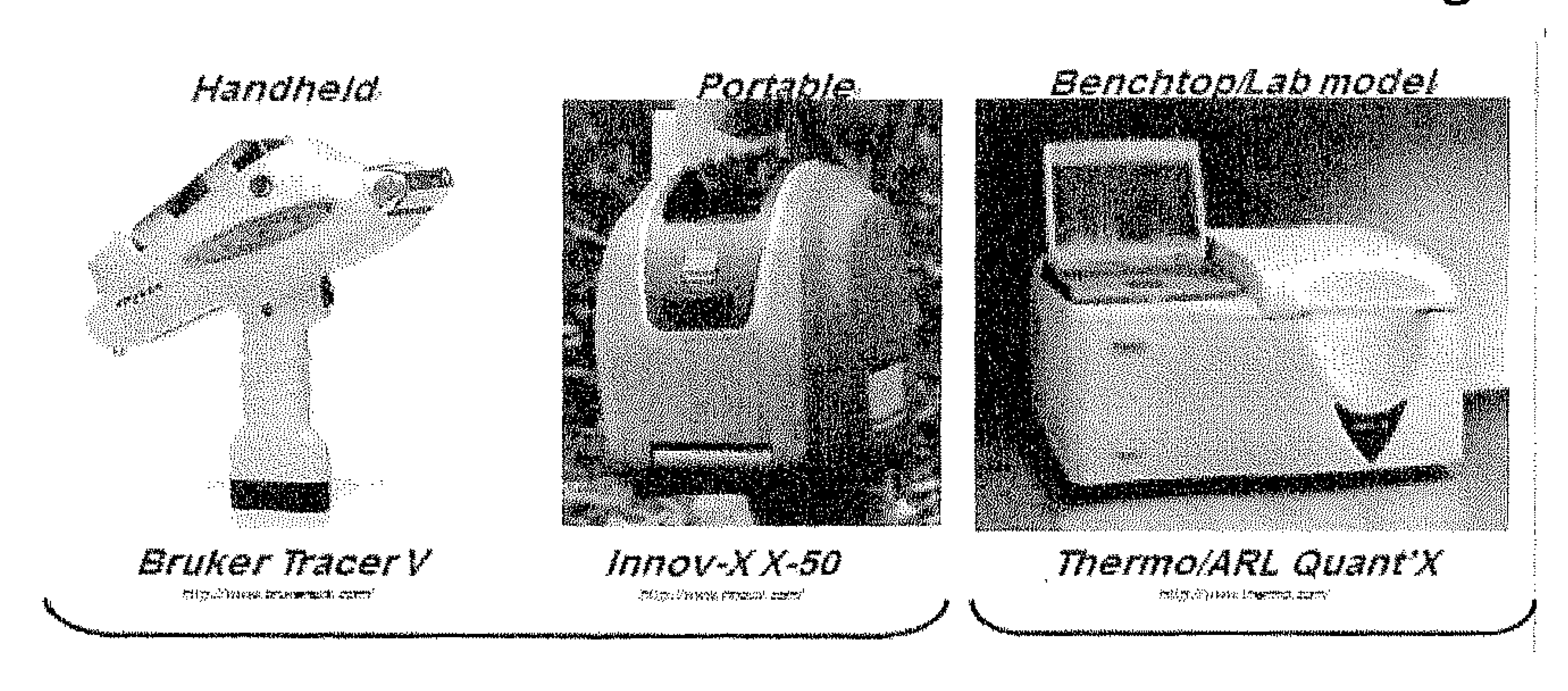
فعندما تكون هناك سبيكة معينة تتكون من عدة عناصر يمكن الكشف عن العناصر الموجودة بها ونسبها أيضاً وعلى سبيل المثال الشكل (26)،



الشكل (26): العلاقة بين شدة الإشعاع والطاقة لبعض العناصر

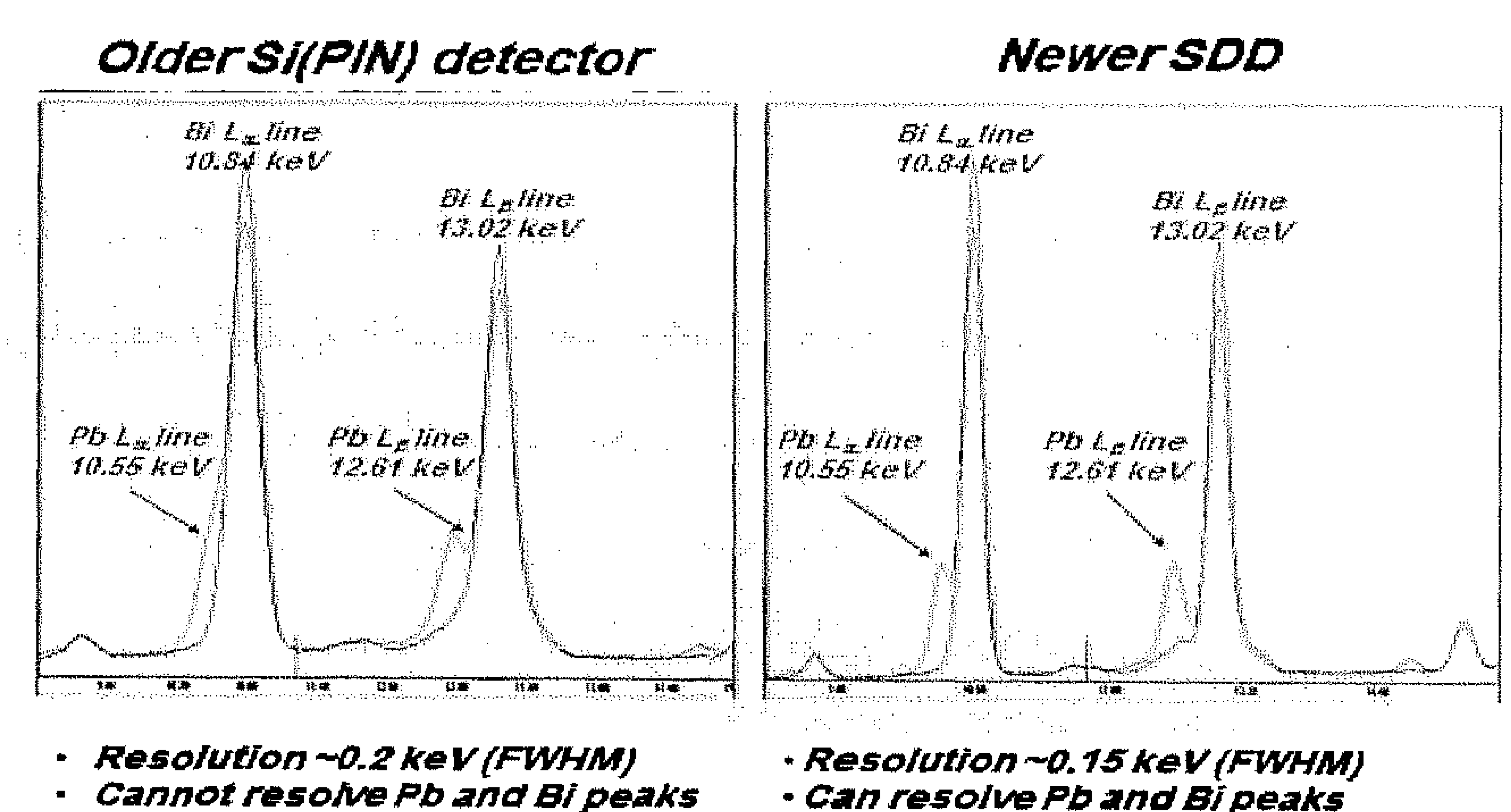
نلاحظ في هذا الشكل مجموعة من طاقات التفلور ل – Ga – As - se Zn في هذه السبيكة تكون محصلة المساحة تحت المنحني لكل قيمة عالية مجموعها تمثل 100% . وأجهزة الـ XRF تكون بعدة أنواع منها محمول ومنها

غير محمول مبرمجة لاستخراج النسبة المئوية الكترونيا بشكل إحصائي (إنظر الشكل (27)).



الشكل (27) : أجهزة الـ XRF .

هناك تأثير لدقة التمييز للمتحسسات الالكترونية فكلما تكون قيمة الـ resolution اقل يكون عندها التمييز أكثر كما في الشكل (28). وتكون دقة جهاز XRF عالية ويعتمد ذلك على دقة التمييز .



شكل (28): تأثير لدقة التمييز للمتحسسات الالكترونية detector resolution

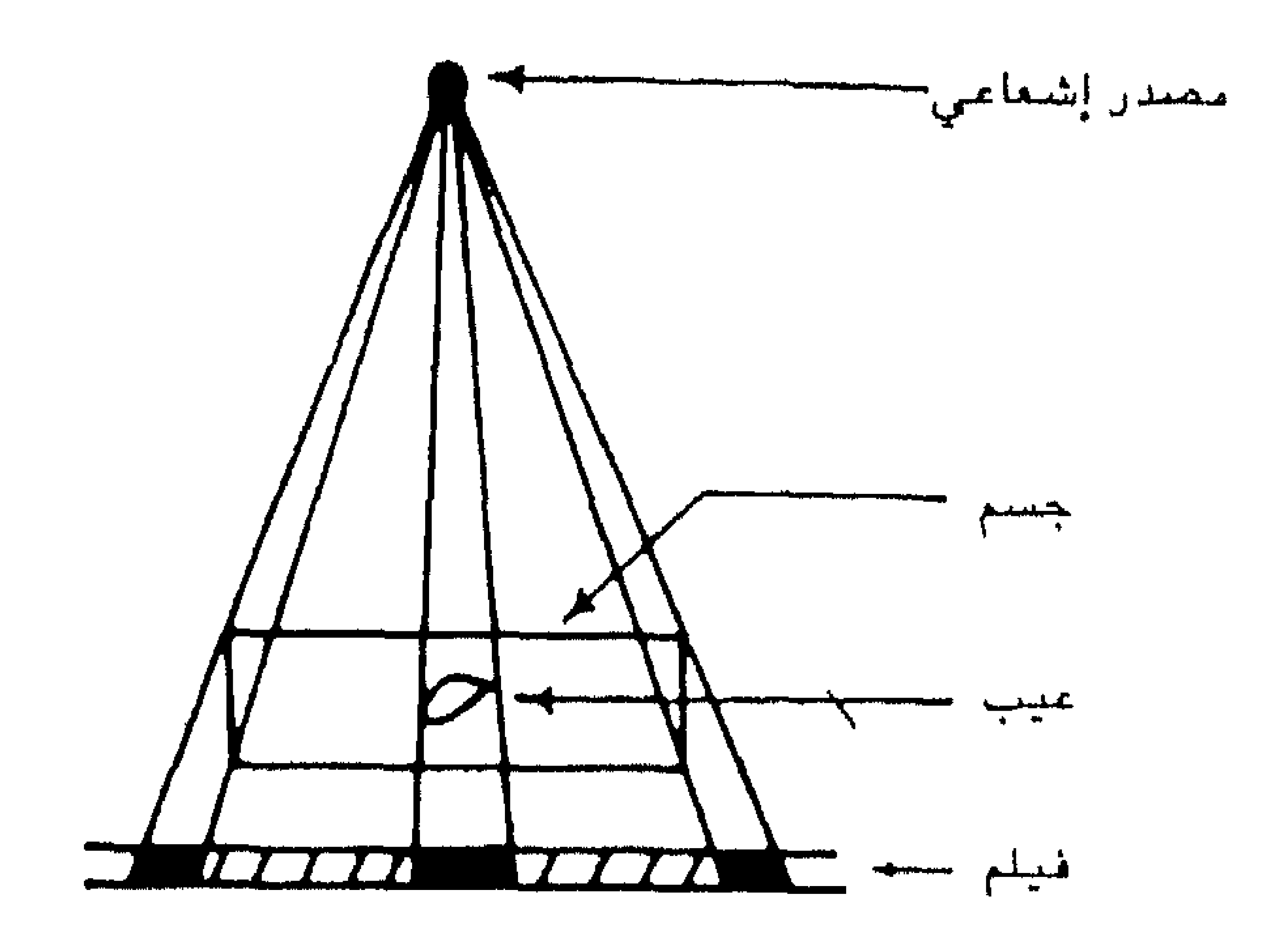
10.3 التصوير بالأشعة السينية

تعد الصناعة من أهم المجالات التي استفادت كثيراً من الإستخدامات المختلفة للاشعة السينية والنظائر المشعة (اشعة كاما التي ستوضح في الفصل القادم) ، وتتمثل هذه الاستفادة أساساً في توفير الوقت والجهد ، ويستعرض هذا الفصل إلى أحد التطبيقات الهامة في مجال الفحص الاتلافي بالتصوير بواسطة الأشعة السينية في الصناعة وتعتمد تقنية التصوير الإشعاعي بالشعة السينية على أنه إذا وضع جسم بين مصدر إشعاعي وفيلم فوتوغرافي ظهرت له صورة تفصيلية على الفيلم بعد عملية الإظهار الكيميائي. والمصدر الإشعاعي في هذه الحالة أما أن يكون مولد الأشعة السينية وأما نظير مشع، وفي أغلب الأحيان تستعمل النظائر المشعة الباعثة لأشعة كاما في التصوير الإشعاعي بسبب قدرة هذه الأشعة على اختراق الأجسام. أما بالنسبة لأفلام التصوير الإشعاعي المستخدمة، فأن فيلم التصوير الإشعاعي يتكون عادة من مادة بلاستيكية يغطى أحد وجهيها أو كلاهما بطبقة جلاتينية متجانسة تحتوي على حبيبات متناهية الصغر لمركبات الفضة وبصفة أساسية من بروميد الفضة. ويعتمد مقدار اسوداد الفيلم بصورة رئيسية على كمية الإشعاع المار بالفيلم وعلى المحلول المظهر المستعمل في غسل الفيلم والطريقة المتبعة فيه. وهناك عدة أنواع من الأفلام يتم إستخدامها حيث أن اختيار الفيلم المناسب لحالة معينة يعتمد على عدة عوامل منها نوعية الصورة المطلوبة وسرعة التصوير. وتستعمل الأفلام السريعة جداً (High Speed Films) لتصوير مقاطع سميكة وذلك لتقليل مدة التصوير ولدراسة العيوب الصغيرة في العينات المراد دراستها، ويفضل استعمال الأفلام ذات الحبيبات الدقيقة (Fine Grain Films) لإمكانية الحصول على صور أفضل وتفاصيل أدق.

11.3 مبدأ التصوير الإشعاعي

يمكن تعريف التصوير الإشعاعي بأنه فحص بطريقة غير إتلافية يستعمل في الإشعاع النفاذ للكشف عن تراكيب الأجسام غير المرئية والتي يمكن مشاهدتها على فيلم موضوع على الجانب الآخر من الجسم بعد إظهار الصورة وتثبيتها. يقوم التصوير الإشعاعي أساساً على قانون إمتصاص الأجسام للإشعاع فالإشعاع النافذ ينتقل خلال الجسم المراد فحصه بدرجات متفاوتة في الشدة طبقاً لسمك وكثافة الجسم المصور وحسب معامل الإمتصاص الكتلي للأشعة السينية (كما في المعادلات السابقة) ، وأثناء مرور الإشعاع بالفيلم ينتج تغيير في مستحلب الفيلم (Emulsion) (Film. وعند إظهار الفيلم كيميائياً فأن المساحات المعرضة للإشعاع تظهر معتمة سوداء وشدة هذا الاسوداد تعتمد بصورة رئيسية على شدة التعرض للإشعاع، وتسمى الصورة الناتجة بهذه الطريقة بالصورة الشعاعية (Radiograph).

ويبين شكل (29) كيفية الحصول على صورة شعاعية، وممكن ان يكون فيها مصدر الإشعاع مولد الأشعة السينية او عبارة عن كبسولة حافظة للنظير المشع مثل الكوبالت - 60 أو الاريديوم - 192. وينتشر الإشعاع المنبعث من المصدر في خطوط مستقيمة في جميع الاتجاهات وعند مروره خلال الجسم المراد فحصه يحدث انخفاض في شدته نظراً لإمتصاص بعضه في الجسم أو تشتته عنه. وفي حالة وجود تجاويف داخلية في الجسم أو اختلافات في كثافته، فأن شدة الإشعاع النافذ من هذه المناطق تكون أكثر من بقية أجزاء الجسم المحيطة به وبذلك تظهر هذه المناطق في الصورة الشعاعية كمناطق أكثر سواداً. لذا يمكن اعتبار الصورة الشعاعية صورة تفصيلية لجسم ما حيث تبين المناطق الأكثر سماحاً لنفاذ الإشعاع والمناطق الفاتحة اللون الأجزاء الأكثر كثافة أو سمكاً.



شكل (29): الأسس في التصوير الإشعاعي

ومن أجل الحصول على صورة شعاعية حقيقية واضحة يجب أن تتوفر الشروط التالية:

1 - حجم النظير المشع صغيراً جداً بقدر الإمكان اذا كان التصوير بأشعة كاما.

2 - المسافة بين المصدر والجسم أبعد ما يمكن.

3 - الفيلم ملاصق للجسم بقدر الإمكان.

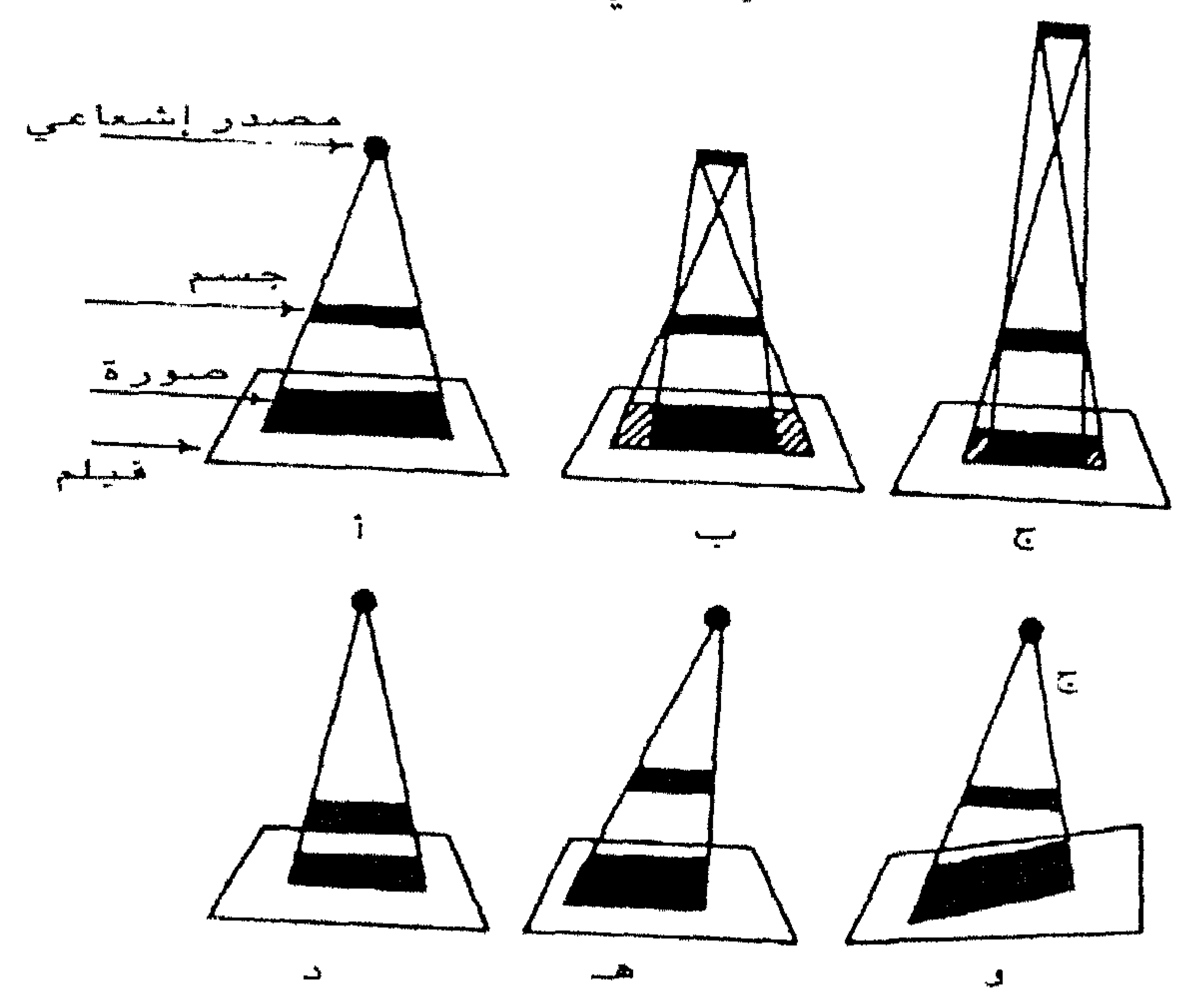
4 - سطحي الجسم والفيلم متوازيين.

5 - الأشعة موجهة عمودياً على الجسم وفي مركزه.

6 - إبعاد الأجسام القادرة على تشتيت الإشعاع (Scattering Objects) عن منطقة التصوير.

ويوضح شكل (30)العوامل المؤثرة في تكوين الصورة الشعاعية. الملاحظ في الشكل (أ) أن المصدر صغير جداً بينما كان في الشكل (ب) كبير نسبياً مما سبب تشويهاً في الصورة الثانية، وفي الشكل (ج) يمكن ملاحظة قلة تشويه الصورة لكبر المسافة بين المصدر والجسم. أما في الشكلين (د)، (هـ) فيمكن ملاحظة التشابه الكبير بين أبعاد الصورة وأبعاد الجسم عندما يكون الجسم

ملاصقاً للفلم والمصدر في مركز الجسم والفيلم، ويلاحظ أيضاً التشويه الحاصل في جزء من الصورة عندما ينحرف المصدر عن مركز الجسم والفيلم. وأخيراً يبين الشكل (و) الصورة مشوهة عندما يكون الجسم والفيلم غير متوازيين حيث ينعدم التناسب بين أبعاد الجسم وأبعاد الصورة. بعد الانتهاء من تثبيت هذه العوامل واختيار الفيلم المناسب تأتي المرحلة الأخرى وهي حساب مدة التصوير (مدة التعرض) حسب نوع الفيلم والمصدر المتوفر والمناسب لعملية الفحص. وتستعمل جداول خاصة للتعرض (Exposure Charts) في أغلب الأحيان لحساب مدة التصوير لفيلم ومصدر معينين، وهناك حاسبات لمدة التصوير تستعمل حالياً بكثرة نظراً لصغر حجمها وسهولة استعمالها لأنواع المصادر الشائعة الاستعمال في التصوير الإشعاعي.

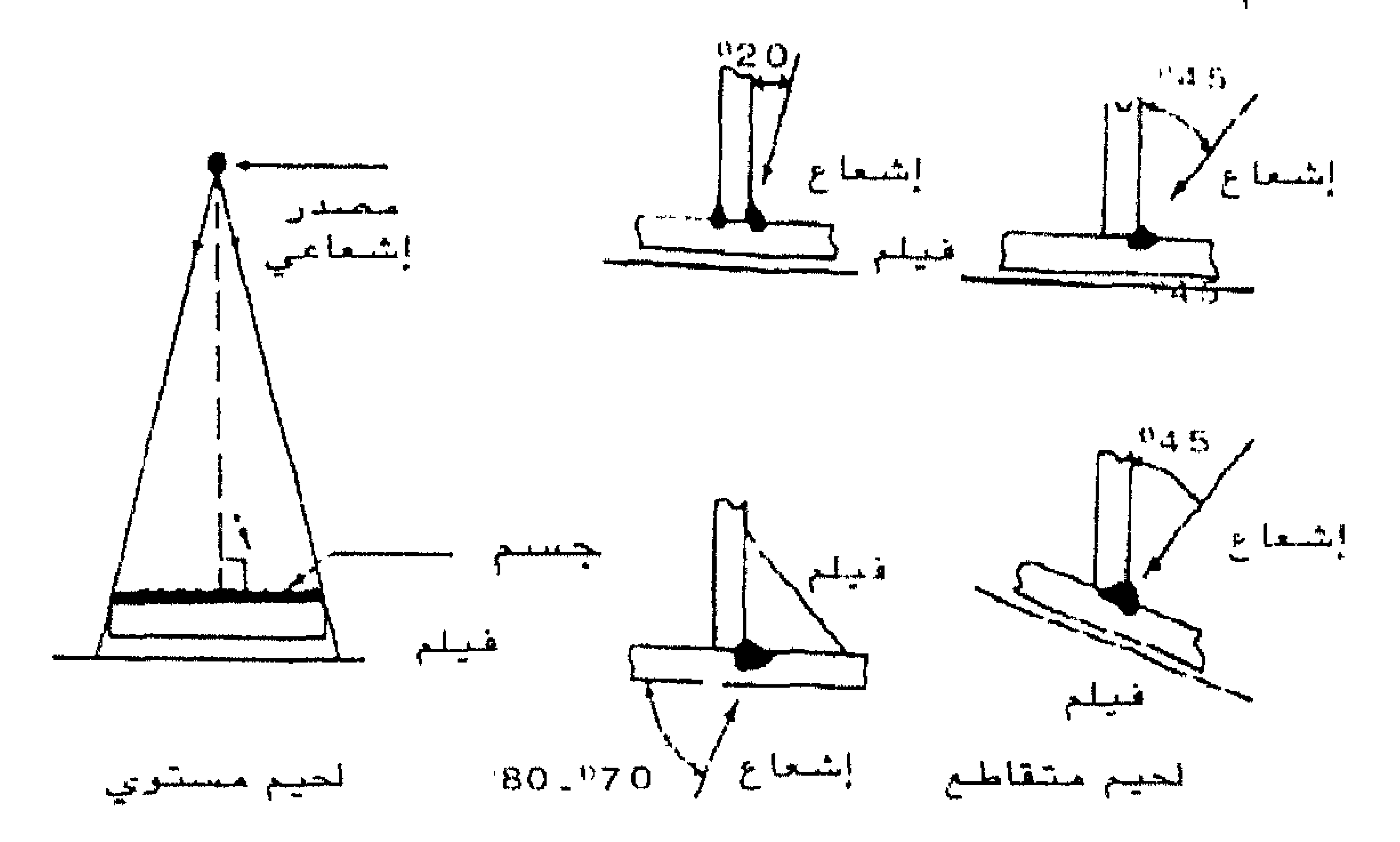


شكل (30): العوامل المؤثرة في تكوين الصور الشعاعية

12.3 مجالات وتطبيقات التصوير الإشعاعي

1 - **فحص اللحام** (Welding Inspection) .

يعتبر هذا الفحص من أهم تطبيقات التصوير الإشعاعي وذلك لأنه يكشف طريقة غير إتلافية عن الأخطاء والعيوب الموجودة في اللحام، لذا يستعمل بكثرة في فحص المواد أثناء مراحل الإنتاج والتطوير. ويبين الشكل (31) بعض الطرق المستخدمة في فحص أنواع اللحام بالتصوير الإشعاعي. وتكون العيوب في اللحام أما فجوات غازية وأما مواد شائبة ذات كثافة أقل من مادة اللحام والمحيطة بها، ولهذا السبب تظهر هذه العيوب في الصورة الشعاعية كمناطق أكثر اسوداداً مختلفة الأحجام والأشكال.



شكل (31): بعض الطرق في فحص اللحام بالتصوير الإشعاعي

ويمكن تصنيف العيوب في اللحام إلى:

a) شروخ (Cracks) وتظهر في الصورة كخطوط متعرجة.

b) توغل غير كامل (Incomplete Penetration) لمادة اللحام ويظهر كخط مستقيم في وسط اللحام على امتداده.

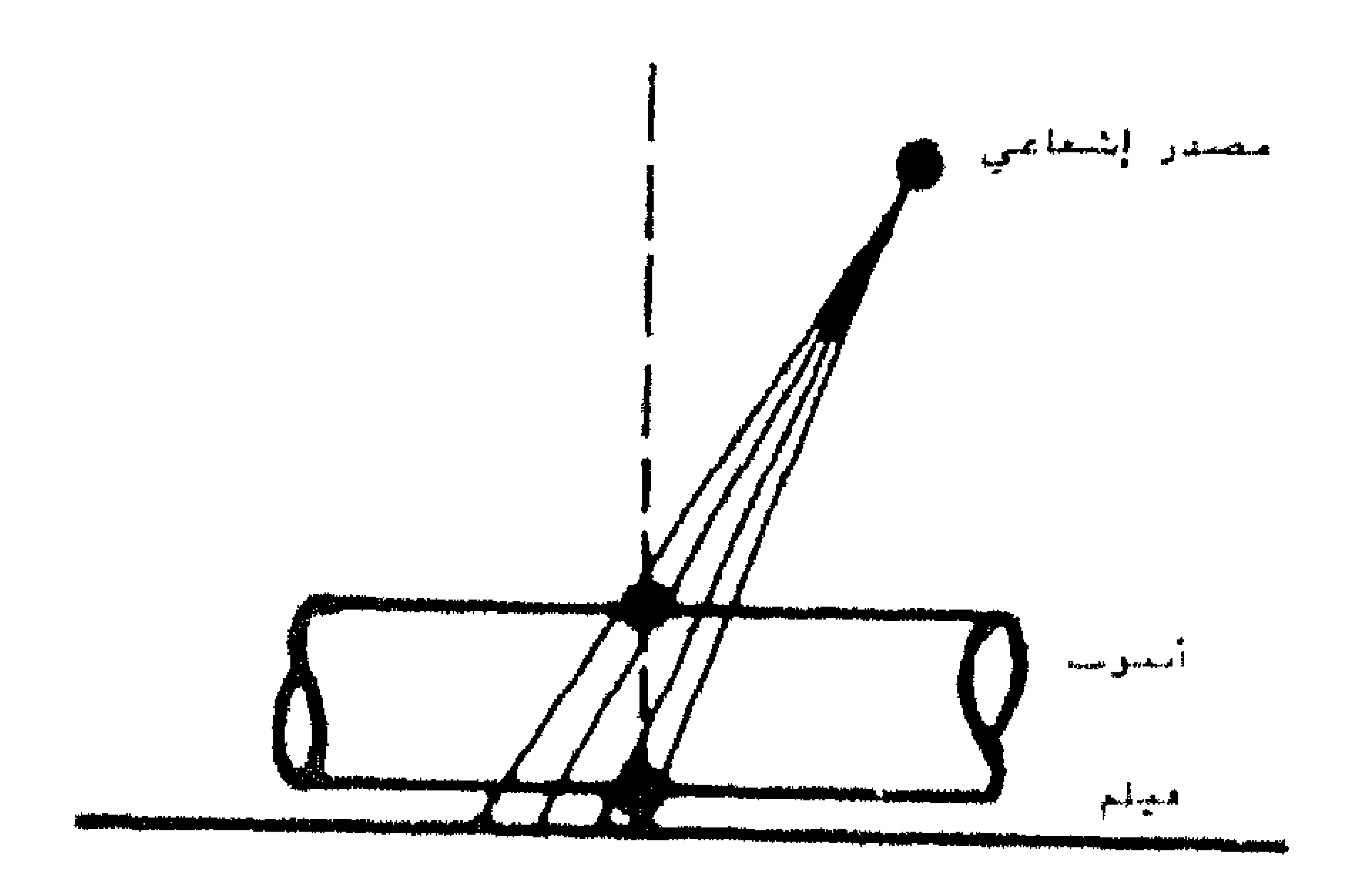
c) قلة اندماج (Lack of fusion) بين اللحام والجسم ويظهر في الصورة كخط متعرج.

d) مسامات (Porosities) وتظهر في الصور كنقاط دائرية ذات حافات واضحة.

e) حز واطئ (Undercut) ويظهر في الصورة بموازاة وعلى حافة اللحام.

f) عيوب سطحية وعدم انتظام (Surface Defects and Irregularities) وتظهر بأشكال مختلفة.

ومن أهم التطبيقات في هذا المجال فحص لحام الأنابيب عند مد أنابيب جديدة يتحتم لحام نهاياتها بعضها ببعض وللتأكد من وجود اللحام تؤخذ صورة شعاعية لكل لحام ويصلح أي خطأ يعثر عليه قبل نقل أجهزة اللحام مسافات بعيدة وتكون الطريقة المتبعة في التصوير هي تثبيت مصدر لأشعة كاما على عربة صغيرة دفع داخل الإنبوب إلى أن يكون المصدر نفس مقطع اللحام وتتم السيطرة على حركة العربة عادة من الخارج بواسطة أجهزة لاسلكية ثم يغطى اللحام بفيلم مغلف تغليفاً جيداً ضد الضوء وبعد ذلك يتم إخراج المصدر من حاويته وتؤخذ صورة كاملة للحام على الفيلم، وتسمى هذه الطريقة بالتقنية المركزية (Central Technique) وعندما يتعذر إدخال المصدر داخل الإنبوب يوضع خارجاً ومنحرفاً قليلاً عن مقطع اللحام ثم تؤخذ الصورة، وتسمى هذه الطريقة بتقنية الجدارين (Double-Wall Technique) وهي موضحة في شكل (32).



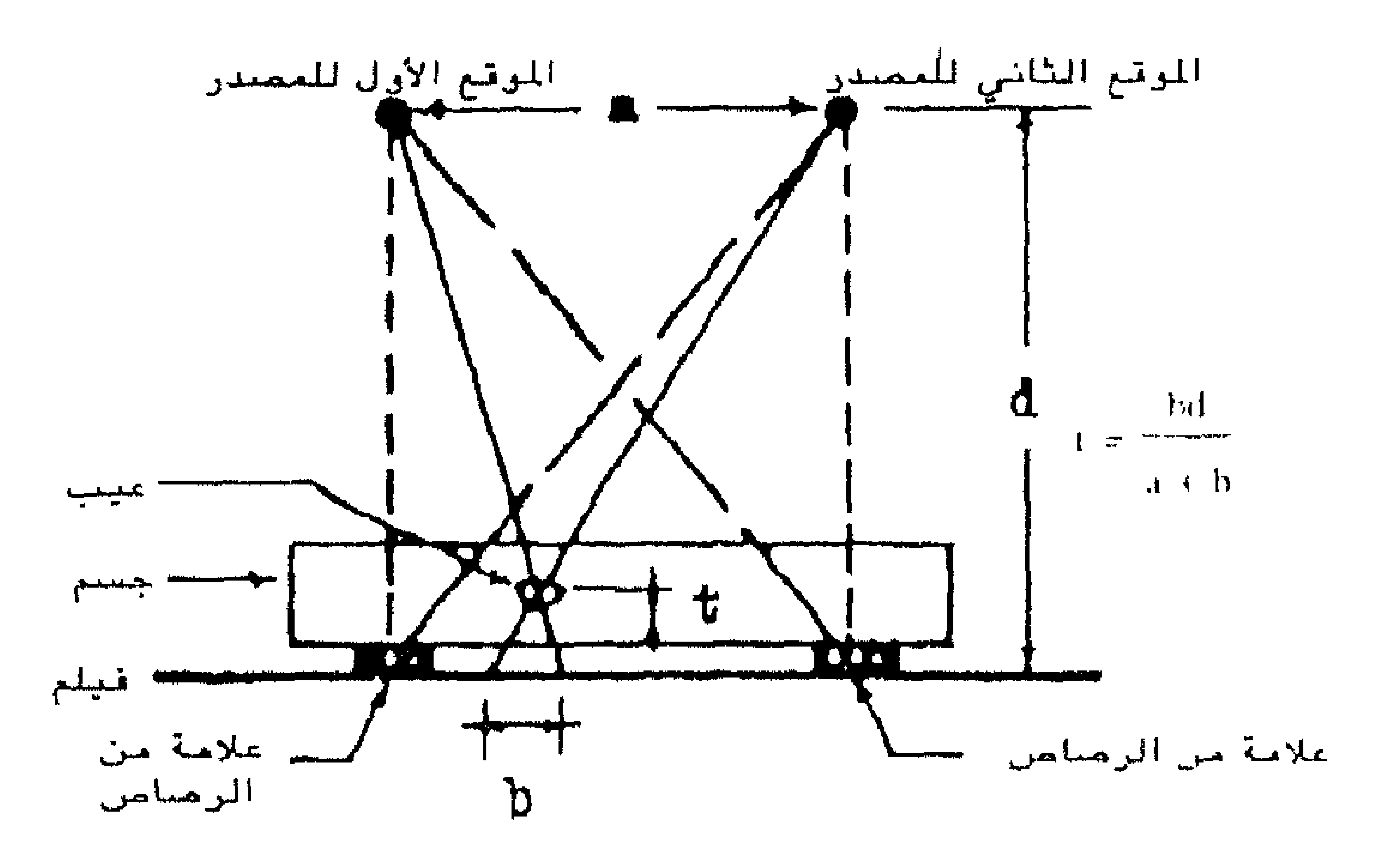
شكل (32): تقنية الجدارين

2 - **فحص المسبوكات** (Casting Inspection).

يأتي فحص المسبوكات بالتصوير الإشعاعي في الدرجة الثانية من الأهمية بعد فحص اللحام، ويستعمل لكشف العيوب الداخلية فيها والتي تشبه إلى حد ما عيوب اللحام. وبالإمكان فحص المسبوكات لجميع الفلزات الشائعة ويتضمن ذلك الحديد، الصلب والفولاذ والألمنيوم والنحاس ومهما كانت أشكال وأحجام المسبوكات. إن السيطرة على نوعية المسبوكات بواسطة التصوير الإشعاعي تؤدي إلى الاستغناء عن المسبوكات التي يمكن أن تؤدي إلى إتلاف الآلة المصنوعة منها أثناء الاستعمال، فالمسبوكات المرفوضة يمكن فحصها وتلافيها قبل إجراء عمليات الخراطة المختلفة عليها والتي غالباً ما تكلف مبالغ باهظة ووقتاً مضاعفاً. هناك طرق متعددة لتعيين موقع أو عمق العيب في المسبوكات أهمها الطريقة المعروفة بتقنية التصوير المزدوج (Double Exposure) وتقنية التصوير المجسم (Stereoradiography).

ففي الطريقة الأولى تؤخذ صورة للجسم لفترة تصل إلى نصف مدة التصوير ثم ينقل المصدر المشع إلى موقع ثان على مسافة قصيرة بموازاة تؤخذ صورة ثانية للزمن المتبقي على نفس الفيلم، ويحسب عمق العيب من المعادلة الهندسية المبينة في شكل (33) والذي يوضح تقنية التصوير المزدوج. أما في الطريقة الثانية فتؤخذ

صورتان أيضاً ولكن باستعمال فيلمين ويكون نقل المصدر في هذه الحالة بين 10 – 8 سم وهي المسافة التقريبية بين العينين، وينظر للصورة المأخوذة بجهاز تجسيم الصورة (Stereoscope) الذي يجسم العيوب لتقدير أبعادها وأعماقها.



شكل (33): تقنية التصوير المزدوج

4 - **فحص التراكيب الداخلية** (Internal Geometry Inspection) .

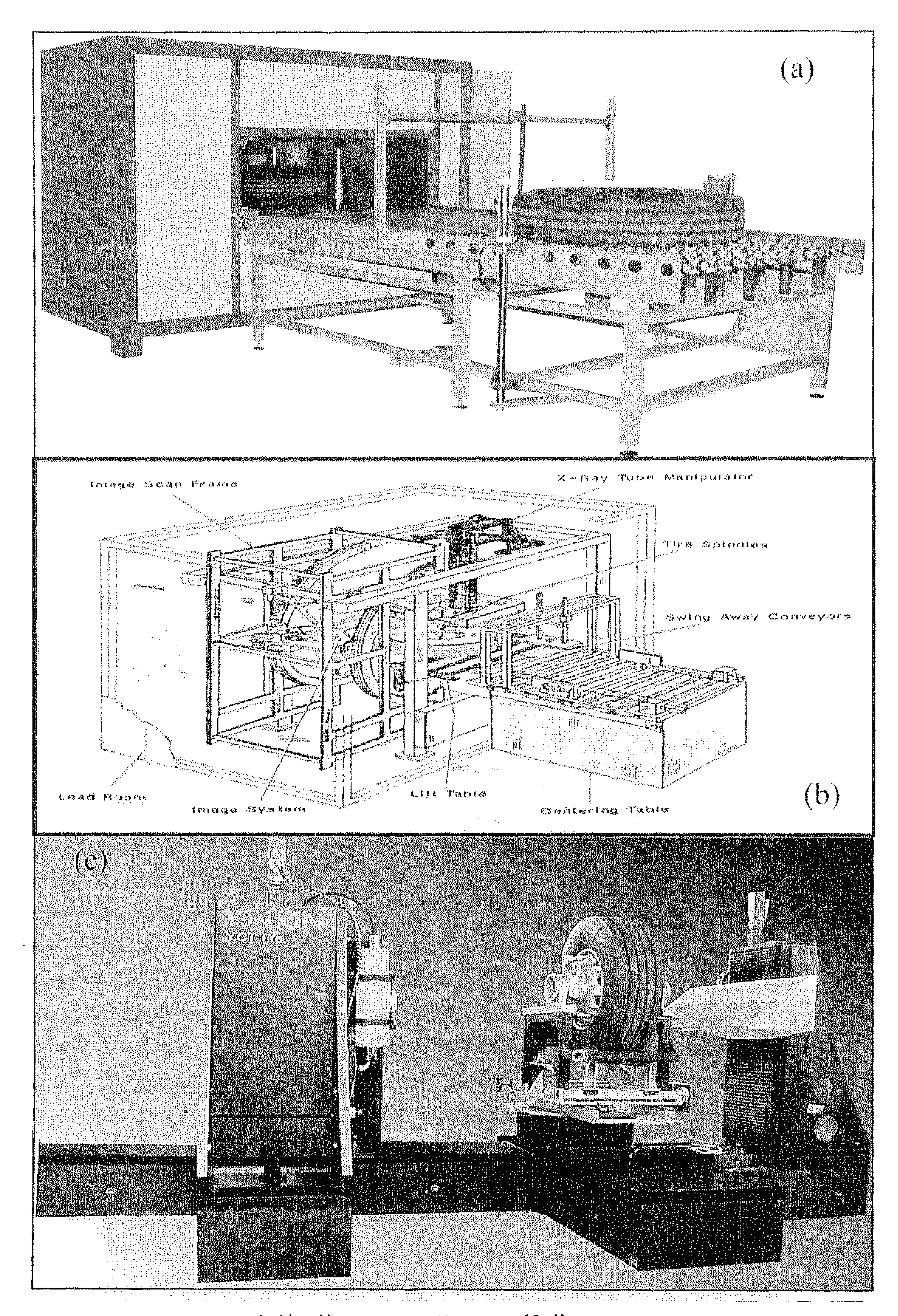
يستعمل التصوير الإشعاعي لإظهار التركيب الداخلي للأجهزة المختلفة. ففي الحالات التي لا يمكن فيه التوصل إلى داخل الجهاز أو كانت هناك تجزئة في الأجزاء المختلفة تؤخذ صورة شعاعية للجهاز من مختلف الاتجاهات لإظهار الأخطاء فيها إن وجدت، مثال ذلك قطع في أحد الأسلاك أو اختلاف في مواقع الأجزاء ، كما في فحص الطائرات ويستخدم هذا الفحص بشكل دوري على الطائرات مثلا : كل 400ساعة أو 600 ساعة طيران ويتم فيه تصوير الأجزاء الداخلية لجسم الطائرة والأماكن التي تتعرض للضغط مثل وسط الأجنحة ودفات التحكم وأي أماكن غير ظاهرة ويتم ذلك للكشف عن وجود الكسور الداخلية التي لا ترى بالعين المجردة ومعرفة مكان هذه الكسور وحجمها من أجل ضمان سلامة الطائرة وبالتالي ضمان سلامة الركاب ورفع جاهزية أمان الطائرة ويتم الاحتفاظ بالأفلام لفترات طويلة لتكون مراجع عند الحاجة إليها

وتتم عملية التصوير بواسطة أجهزة أشعة أكس وتعطي نتائج جيدة بالتأكد من خلو الأجزاء الداخلية للطائرة من اي كسور ويتم كشفها إن وجدت.

وأيضاً يستخدم التصوير الإشعاعي بالأشعة السينية بفحص الإطارات (فحص التراكيب الداخلية للإطارات) حيث نستخدم طاقة متوسطة الطاقة (25 -100 كيلو واط) لكي لا تؤثر على مادة المطاط ويحذر فحص المطاط أو البوليميرات بواسطة أشعة كاما بسبب طاقتها العالية .

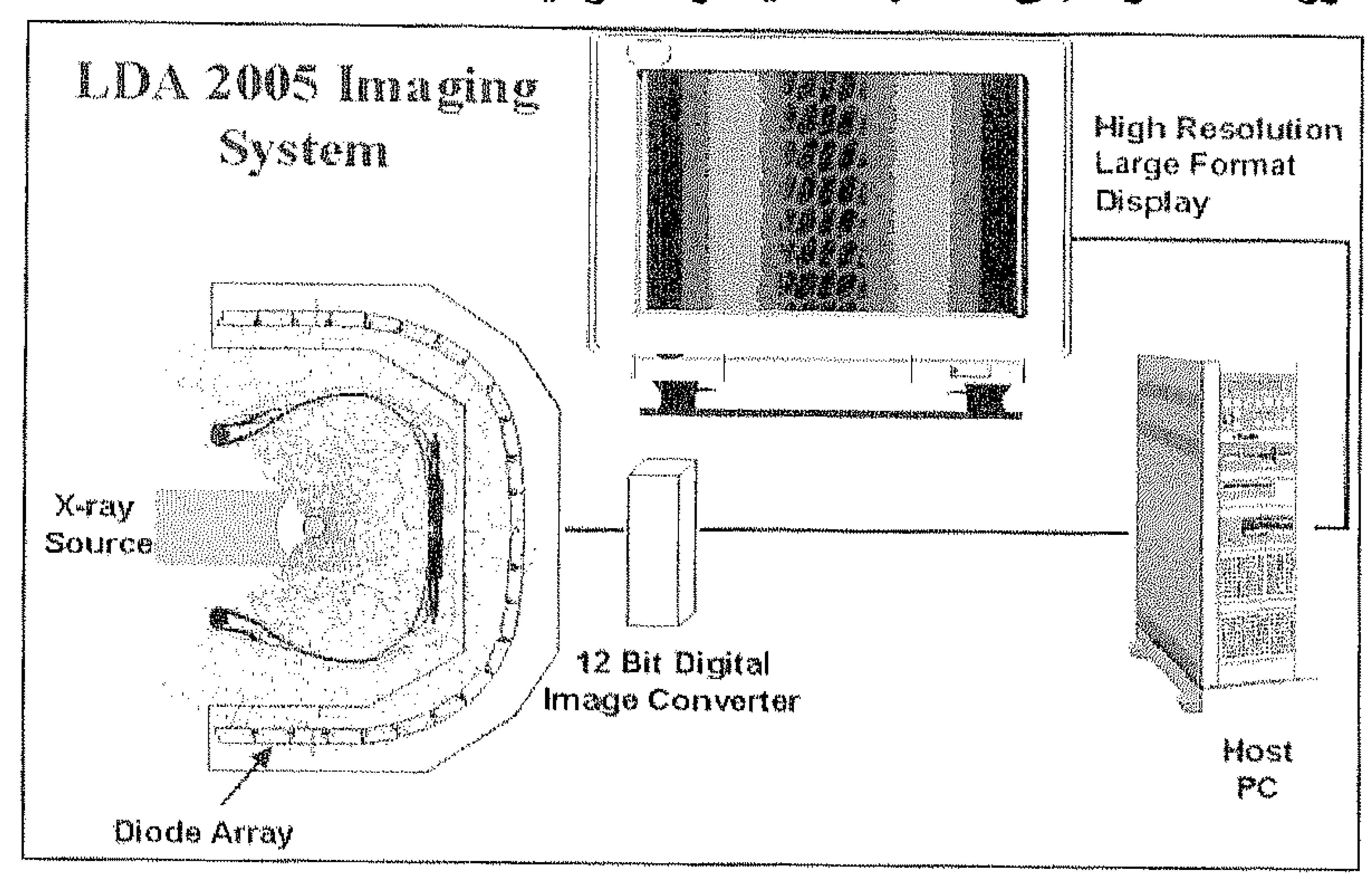
5 -**فحص الإطارات**

يتم فحص الإطارات بواسطة مكائن فحص الإطارات الاتلافية بتقنية الأشعة السينية وهناك عدة أنواع من هذه المكائن أشهرها المكائن الموضحة في الشكل (34) أدناه حيث يوضع الإطار بعد خروجه من مكائن الإنتاج إلى دائرة الفحص والسيطرة النوعية بحيث يسير على حزام ناقل إلى أن يصل إلى داخل الماكنة كما في الشكل (34 -b).

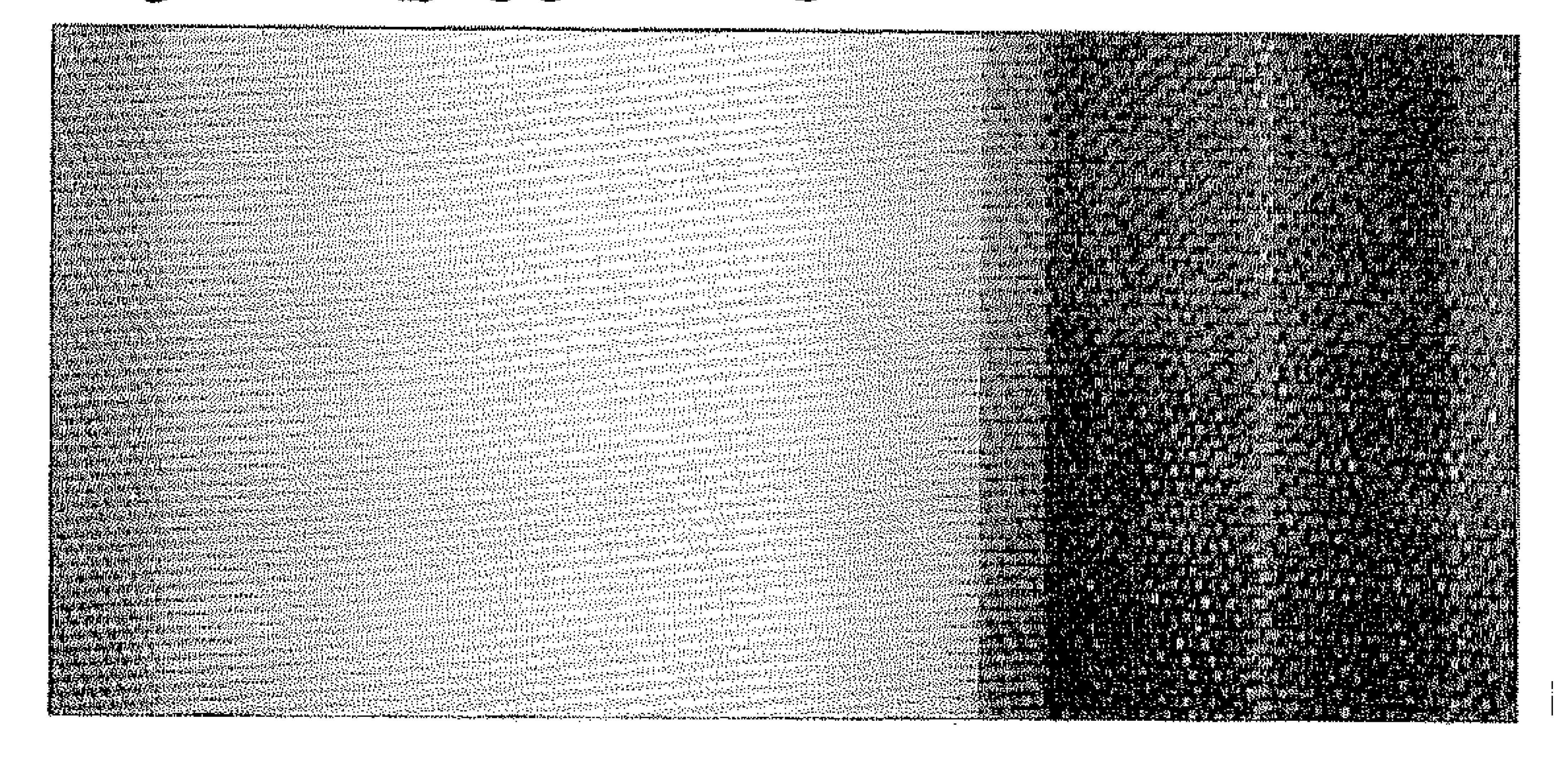


شكل (34): مكائن فحص الإطارات

حيث يدخل الإطار على قاعدة الفحص وبداخل هذه القاعدة 4 عتلات من الأسفل و 4 عتلات من الأعلى كل هذه العتلات تتحرك إلى الجوانب وإلى الأعلى وفي نهاية كل عتلة توجد عتلة دوارة لتحريك الإطار قبل الفحص تتحرك هذه العتلات العليا والسفلى باتجاه الإطار وبعد المسك بالإطار تتحرك إلى الأعلى لغرض فتح الإطار وفي هذه الأثناء ينزل مصدر الأشعة السينية للفحص كما في الشكل رقم (35) ويصبح ضمن الإطار المفتوح بحيث يصبح اللوح الحساس للأشعة السينية خارج الإطار وهذا اللوح الحساس مربوط بمنظومة الكترونية تنقل الصورة المتكونة إلى حاسبة السيطرة النوعية .



الشكل (35): مخطط منظومة الفحص وطريقة الفحص

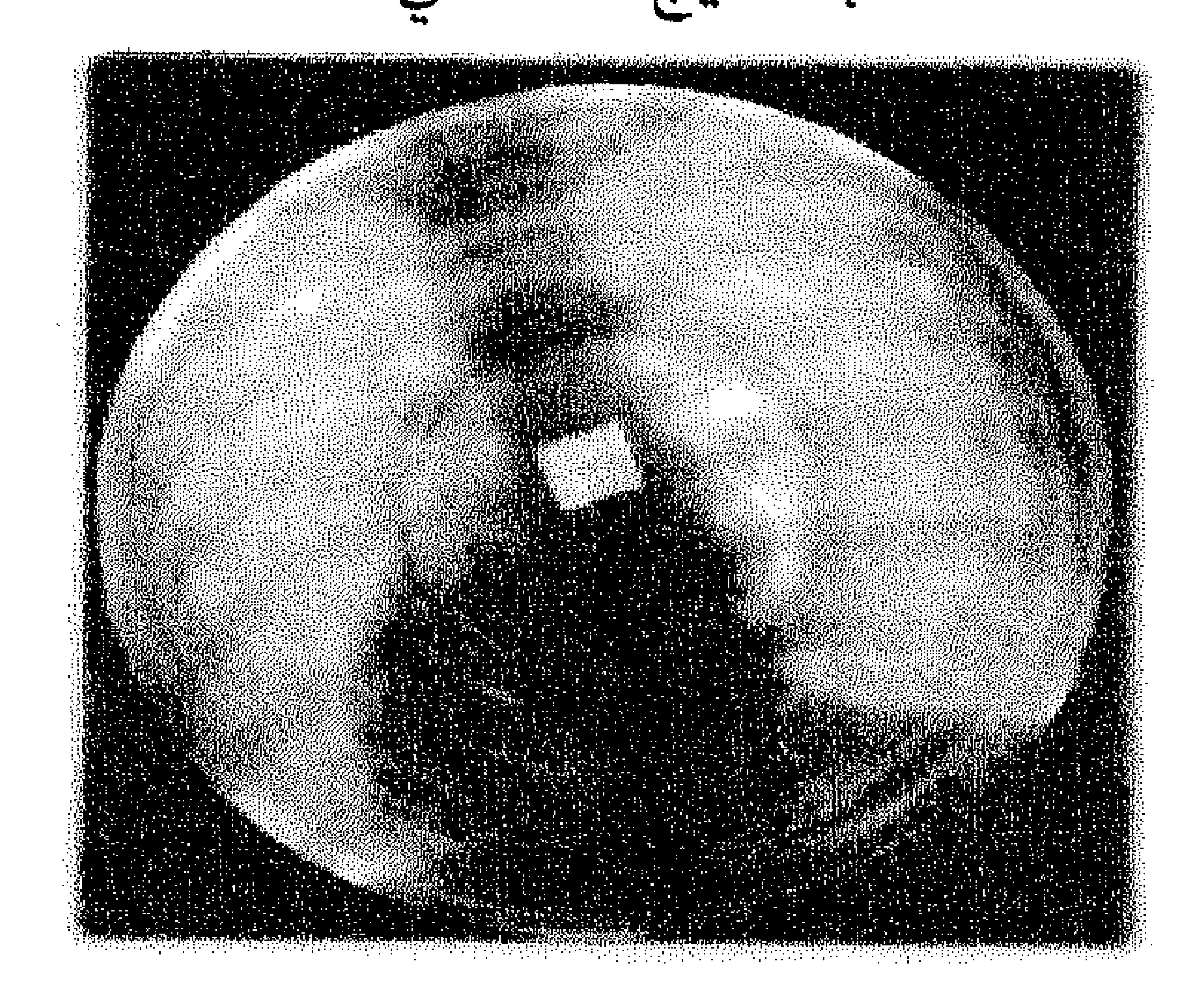


الشكل (36):صورة توضح شكل النقشة واتزانها وانتظامها

حيث تظهر جميع العيوب في الإطار من حصى من فجوات من مواد غريبة وممكن تشخيصها ومن الملاحظ في الشكل (36) تظهر شكل النقشة واتزانها وانتظامها واذا كان هناك خلل بسمك هذه النقشة يظهر واضح للعيان بالاظافة إلى ان هناك عدة عيوب في الإطارات المسلحة بالاسلاك الحديدية وكذلك المسلحة بالنسيج الكتاني كما في الشكل (37) . حيث اي انحراف بالنسيج الاسلاك الحديدية او نقصانها يؤدي إلى عيوب كثير بالإطار وفي الجدول ادناه ادرجت جميع العيوب والسماحيات لها وممكن تصوير الإطار بكامله من الجوانب لاظهار جميع العيوب كما في الشكل رقم (38).



الشكل (37) : عيوب في الإطارات المسلحة بالاسلاك الحديدية وكذلك المسلحة بالنسيج الكتاني



الشكل (38) : تصوير الإطار بكامله من الجوانب لاظهار جميع العيوب

- إستمارة تصنيف الإطارات الشعاعية على ماكنة الفحص بالأشعة السينية في معامل إنتاج الإطارات

إستمارة تصنيف الإطارات الشعاعية على ماكنة الفحص بالأشعة السينية - في معامل إنتاج الإطارات

ت	رقم الضرر	اسم الضرر	شكل الضرر	السماحات التكنولوجية للأضرار	تصنيف الأضرار
1	X1	عدم تمركز الأحزمة السلكية (البريكر)	X Y $W = \frac{X-Y}{2}$	1 - المسافة w في الشكل تساوي 3ملم كحد أقصى ولطول يساوي ربع طول البريكر. 2 - المسافة w في الشكل تساوي 2ملم ولطول يساوي اكبر من ربع محيط البريكر. 3 - المسافة w في الشكل تساوي بين 2 -3ملم ولطول يساوي اكبر من ربع محيط البريكر، أو بين 3 -5 ملم على أن يجتاز الإطار لفحص الانتظامية.	درجة أولى
				1 - فشل الإطار في النقطة 3 أعلى من فحص الانتظامية. 2 - المسافة w في الشكل أكبر من 5 ملم لأي منطقة من مناطق الإطار.	تلف

ت	رقم الضرر	اسم الضرر	شكل الضرر	السماحات التكنولوجية للأضرار	تصنيف الأضرار
2	X2	منطقة لحام الأحزمة السلكية سميكة (البريكر)		1 - عدد الأسلاك في المسافة X الموضحة في الشكل لا تزيد عن أربعة أسلاك لأي منطقة من مناطق الإطار.	درجة أولى
				1 - عدد الأسلاك في المسافة X الموضحة في الشكل أكثر من أربعة أسلاك لأي منطقة من مناطق الإطار.	تلف
3	X3	تقاطع أو تداخل احد أسلاك (البريكر)		المسافة X الموضحة بالشكل لا تزيد عن 5 ملم	درجة أولى
				المسافة X الموضحة بالشكل أكثر من 5 ملم	تلف

ت	رقم الضرر	اسم الضرر	شكل الضرر	السماحات التكنولوجية للأضرار	تصنيف الأضرار
4	X4	انثناء أو انفتاح نهايات البريكر الواحد	X	1 - عدد الأسلاك المثنية أو المفتوحة لا تزيد عن 6 أسلاك 2 - المسافة X في الشكل لا تزيد عن 5 ملم.	درجة أولى
				1 - عدد الأسلاك المثنية أو المفتوحة أكثر من 6 أسلاك 2 - المسافة X في الشكل تزيد عن 5 ملم.	تلف
5	X5	عدم تساوي المسافات بين نهايات الأسلاك	X	المسافة X في الشكل تساوي 3 أضعاف المسافة بين أسلاك البريكر الطبيعية كحد أقصى على أن لا يتكرر هذا العيب أكثر من مرة واحدة للبريكر الواحد	درجة أولى
				المسافة X في الشكل أكثر من 3 أضعاف المسافة بين أسلاك البريكر	تلف

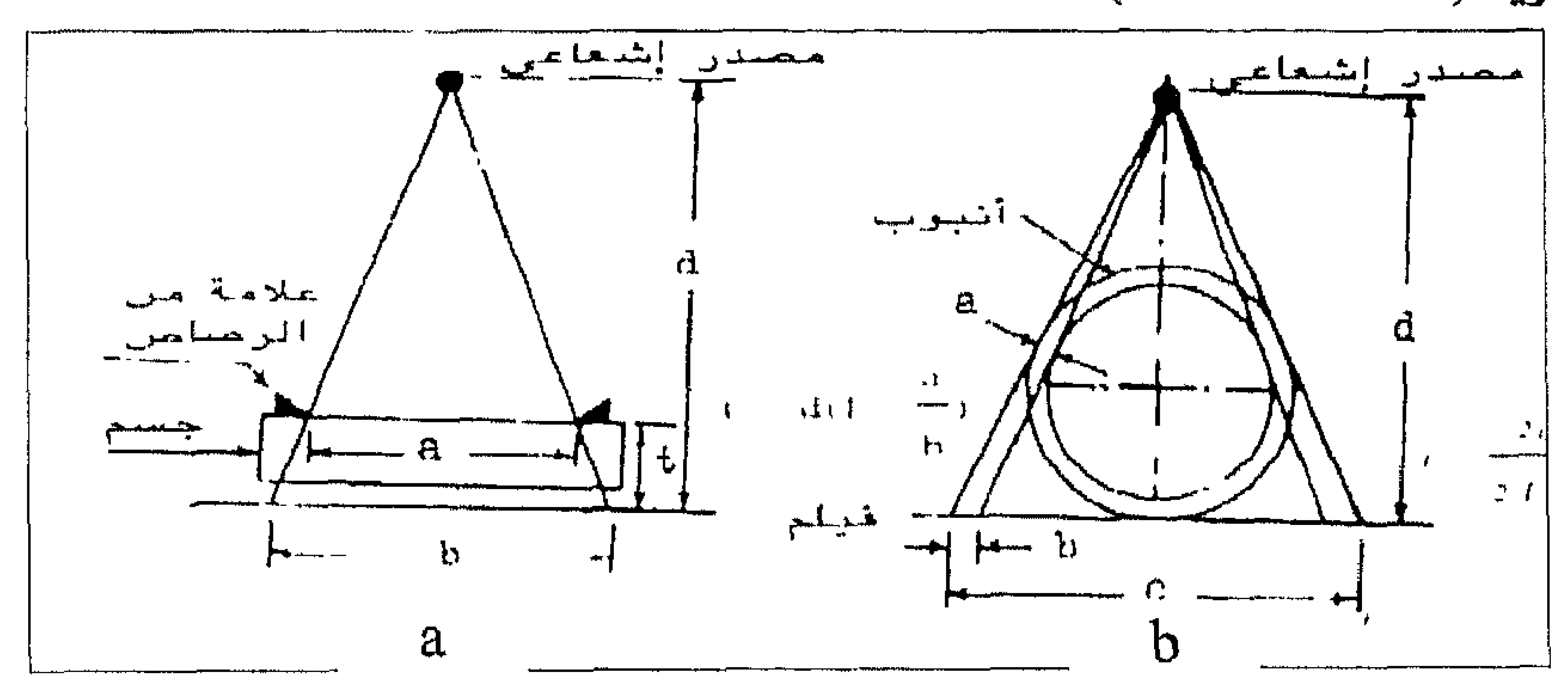
ت	رقم الضرر	اسم الضرر	شكل الضرر	السماحات التكنولوجية للأضرار	تصنيف الأضرار
6	X6	عدم تساوي المسافات بين أسلاك البريكر الواحد أو فقدان بعض الأسلاك أو انفتاح اللحيم		المسافة X في الشكل تعادل مجموعة 2 -3 أسلاك على أن لا يتكرر هذا العيب مرتين للبريكر الواحد	درجة أولى
				1 - المسافة X في الشكل أكثر من 3 أسلاك في أية منطقة من مناطق البريكر الواحد. 2 - تتطابق الفجوة في البريكر الأول البريكر الثاني ما يعادل سلك واحد كما موضح في المنطقة A في الشكل.	تلف

ت	رقم الضرر	اسم الضرر	شكل الضرر	السماحات التكنولوجية للأضرار	تصنيف الأضرار
7	X7	عدم تقابل أو توازي مناطق اللحام	X	1 - المسافة X في الشكل لا تزيد 3,5 ملم.	درجة أولى
				1 - المسافة X في الشكل تزيد عن 3,5 ملم.	تلف
8	X8	مواد غريبة		1 - المواد الغريبة على سطح التريت يمكن إزالتها بدون إحداث أي تشوه للإطار. 2 - المواد الغريبة داخل بنية الإطار بقطر 3 – 5 ملم ومحصورة في مركز المنطقة المضلعة كما في الشكل	درجة أولى
				المواد الغريبة داخل بنية الإطار أو بقطر أكبر من 5 ملم.	تلف

ت	رقم الضرر	اسم الضرر	شكل الضرر	السماحات التكنولوجية للأضرار	تصنيف الأضرار
9	X9	فقدان جزء أو عنصر البريكر		عدم فقدان الإطار لأي جزء	درجة أولى
				كل الإطارات التي تحتوي على بريكر واحد	تلف
10	X10	انثناء بيد		يجب أن يكون البيد مشبعة وعدم حصول انثناء فيه	درجة أولى
				كل الإطارات التي يكون البيد فيها منثني	تلف
11	X11	توازي الأحزمة السلكية باتجاه واحد		يجب أن تبنى الأحزمة السلكية باتجاهين متعاكسين	درجة أولى
				كل الإطارات التي يكون فيها الأحزمة السلكية فيها باتجاه واحد	تلف

6 - **قياس السمك** (Thickness Measurement) .

يستعمل التصوير الإشعاعي لقياس سمك الصفائح والقطع المعدنية وكذلك سمك جدران الأنابيب بصورة تقريبية في الحالات التي لا يتيسر فيها القياس بالطرق الاعتيادية. فعند قياس سمك جسم مسطح توضع علامتان من الرصاص فوق السطح المواجه للمصدر الإشعاعي قريبتان من حافتي الجسم كما موضع في شكل (شكل 39 – a)، ثم تؤخذ صورة شعاعية للجسم ويحسب السمك باستعمال معادلة هندسية تعتمد على تشابه المثلثات. أما في حالة قياس سمك جدار إنبوب ما فيوضع المصدر على مسافة مناسبة من الإنبوب وتؤخذ صورة شعاعية، ويحسب السمك من المعادلة المبينة في الشكل (39 – b). ويمكن تقدير السمك باستعمال قطع قياسية للجسم أو الإنبوب بعد أخذ صور شعاعية ومقارنتها مع بعضها باستعمال جهاز لقياس كثافة اللون الأسود والذي يعرف بمقياس الكثافة البصرية (Densitometer).



الشكل (39): طرق قياس السمك

13.3 السلامة الصناعية من الاشعاع

1 - لماذا الخطورة من التعرض الشعاعي ؟

عندما تصدم الأشعة العادية ذرة ما فإنها غير قادرة على إحداث تغييرات في هذه الذرة ، لكن عندما تصدم الأشعةالسينية الذرة فإنها تسبب طرد إلكترون من هذه الذرة و تحولها إلى شاردة ، أي ذرة مشحونة كهربائياً . تسبب هذه الشحنة تفاعلات كيميائية غير طبيعية داخل الخلايا . كما أنها يمكن أن تسبب كسر لسلاسل الأحماض النووية DNA Chains و هذا ما يسبب موت هذه السلاسل المتضررة أو إصابتها بطفرات ، و هذا ما يجعل الخلايا مسرطنة و يمكن أن ينتشر هذا السرطان خلال الجسم . و إذا أصابت هذه الطفرات النطف أو البيضة عند الأنثى فإن ذلك قد يؤدي إلى وجود عيوب في الأجنة . لذلك يستخدم الأطباء الأشعة السينية باقتصاد هذه الأيام.

لكن رغم هذه المخاطر ، يبقى المسح بوساطة الأشعة السينية الخيار الأكثر أمناً من العمل الجراحي المباشر ، كما أنه من المؤكد أن جهاز الأشعة السينية من أكثر الإختراعات أهمية في عصرنا الحاضر .ولا أحد يستطيع أن ينكر الفائدة الكبيرة للفحصوصات الشعاعية التي تفيد في تشخيص وعلاج الكثير من الأمراض، ولكن لا تخلو هذه الفائدة من الأضرار اذا أسيء استخدامها ، فالضرر الكبير يأتي من الأشعة السينية والنووية المنبعثة من الفحوصات والتي لها تأثير مباشر على الحامض النووي (DNA) في خلايا الجسم ويؤدي إما إلى تجزئته أو إلى خلط تركيبه ، وبالرغم من أن معظم الخلايا تعيد بناء نفسها ولكن هنالك بعض الخلايا التي تتغير بشكل نهائي وبالتالي تزداد خطورة الإصابة بالسرطانات أو التغيّر الجيني . يعتقد خبراء الأشعة أن احتمالية الإصابة بالسرطان الناتجة عن التعرض لكمية بسيطة من الإشعاع لغرض انجاز الفحوصات تكون قليلة ، ولكنها تزداد بزيادة التعرض لكمية أكبر من الإشعاع. عن التعرض

للإشعاع، حيث أن حديثي الولادة يكونون أكثر تحسساً من الأطفال الأكبر عمراً. وبشكل عام يتحسس الأطفال من الأشعة عشر مرات أكثر من البالغين. وهنالك أيضا فارق في خطورة التعرض للسرطان بين الجنسين، فالإناث أكثر قابلية للتعرض من الذكور كسرطان الثدي والغدة الدرقية.

2 - فحوصات غير ضرورية :

تبيّن أن 30 ٪ من فحوصات الأشعة المقطعية التي تُجرى على الأطفال، إما غير ضرورية أو من الممكن استبدالها بفحص آخر غير شعاعي. فعندما تكون فحوصات الأشعة المقطعية ضرورية يجب أن يتوافق ذلك مع المعايير الطبية الخاصة بالأطفال . بشكل عام ربما تكون الطريقة المساعدة في تحديد كمية الإشعاع الناتجة عن كل فحص يُجرى بالأشعة السينية هو بمقارنتها بكمية الإشعاع المنبعثة من تصوير أشعة الصدر العادية (CXR) وعلى هذا الأساس تكون كمية الأشعةالناتجة من تصوير الفقرات القطنية مساوية لخمسين مرة من كمية أشعة الصدر، بينما أشعة القولون الملونة تعادل ثلاثمائة وستين مرة من أشعة الصدر، وتشكل الأشعة الملونة للكليتين مائة وعشرين مرة من اشعة الصدر، أما التصوير المقطعي للدماغ فيشكل مائة مرة من أشعة الصدر، وأخيرا يعادل التصوير المقطعي للبطن خمسمائة مرة من أشعة الصدر .

3 - فوائد ومضار:

على الرغم من كون المسؤولية الأساسية لتبليغ الوالدين حول فوائد ومضار التعرض للأشعة المؤيّنة تقع على مسؤولي الرعاية الصحية من أطباء معالجين واختصاصي أشعة، إلا أنه من واجب الوالدين أن يثقفوا أنفسهم عن الأضرار الممكن حدوثها عند التعرض إلى كميات كبيرة من الإشعاع ويجب أن يكونوا على دراية بتأثيرات الإشعاع على أطفالهم. كما وأنه على الطبيب المعالج وفي حالة عدم حاجة الطفل للفحص بالأشعة أن يكون رأيه فعالا ومؤثرا في طمأنة الوالدين

وبالتالي سيحجمون عن تعريض طفلهم إلى أشعة غير ضرورية. لسوء الحظ نجد أحياناً تعامل الوالدين مع الفحوصات الشعاعية بنفس طريقة التعامل مع استخدام المضادات الحيوية بمبدأ الأكثر قوة هو الأكثر فاعلية ، ومن الممكن ان يتنقل الأهل بطفلهم من طبيب إلى آخر، وربما يتكرر إجراء فحوصات الأشعة العادية والمقطعية أكثر من مرة في أقل من شهر وأحيانا في اقل من إسبوع واحد ، حيث أن بعض الأطباء لا يسألون مرضاهم أو أهاليهم ان كانوا قد أجروا فحصا مسبقا بالأشعة في وقت قريب، وهنالك مرضى يخفون هذه الحقيقة عن أطبائهم لكونهم غير مدركين لخطورة التعرض المتكرر إلى الأشعة لأنه من الممكن حدوث السرطان حتى مع كمية بسيطة للإشعاع .

4 - فائدة الفحص الشعاعي

ومع هذا إذا وضعنا كل هذه المسائل في الحسبان على الوالدين ألا ينكروا فائدة الفحص الشعاعي إذا كان ضروريا أو أحيانا منقذ للحياة ولكن يجب إن يوضحوا إلى الطبيب إذا كان طفلهم قد أجرى فحص مسبق وإحضار الأفلام القديمة للمراجعة والمقارنة لتفادي إعادة التصوير الغير ضرورية. سبب آخر يُعزى له تعرض الطفل إلى كمية كبيرة من الأشعة هو عدم توافر المتخصصين من أطباء وفنيين في مجال أشعة الأطفال . نحن كأطباء نشجع الأهل على مناقشة طبيبهم إذا كان بالإمكان الاستعاضة عن الفحوصات الشعاعية بفحوصات أقل ضررا على أطفالهم مثل ألأمواج فوق الصوتية (Ultrasound) والرنين المغناطيسي (MRI) ، وفي الحقيقة من الممكن حل الكثير من المعضلات التشخيصية بهذين الفحصين.وأخيرا ، كلما قللنا كمية الإشعاع إلى الحد الأقصى واقتصرنا في عمل الأشعة المقطعية للحالات الضرورية فقط، عندها سيقل تعرض الوسط الطبي للإشعاعات الناتجة من التصوير المقطعي . □

الضرر الذي تسببه الأشعة للجسم:

1 - انخفاض في كرات الدم الحمراء والبيضاء.

2 - أنيميا حادة (انخفاض كبير في نسبة الهيموجلوبين في الدم) .

3 - ضعف عام وهزل والتعب من أقل مجهود .

4 - أسوداد في الجلد المعرض للأشعة السينية.

5 - سرطان في الجلد أو في الأعضاء المعرضة لكميات كبيرة من الأشعة السينية .

6 - يؤدي التعرض المباشر للأشعة السينية على الأعضاء التناسلية (الخصيتين للرجال ، والمبيضين للنساء) إلى عقم دائم لا يمكن علاجه.

7 - التعرض لكميات كبيرة على العين لفترات طويلة يؤدي إلى عتمة العدسة.

التأثيرات الكيميائية:

قلنا أن الأشعة قادرة على تشريد الجزيئات العضوية وبالتالي تحليل الروابط الكيميائية فيها وبالتالي الأشعة قادرة على تفكيك العديد من جزيئات أخلاط الجسم، معظم الجسم يتركب من الماء والذي تحلله الأشعة إلى هدروجين، أكسجين وهدروكسيل حيث يعاد الاتحاد ويتشكل ماء أكسجيني أو أن تتحد الجذور مع جذور أخرى مؤدية إلى نواتج ضارة.

التأثيرات الخلوية :

تعتبر الخلايا التي في طور الانقسام من أشد الخلايا تأثراً بالأشعة وبالتالي يعتبر تعرض الجسم في طور النمو أمر خطير، لذلك تولدت فكرة معالجة الأورام الخبيثة لأنها ذات خلايا ناشطة تتأثر بالأشعة أكثر من الخلايا الطبيعية وهذا مبدأ المعالجة بالأشعة (الخلية في طور الانقسام تتأثر بالأشعة أكثر من الخلية الطبيعية ولكن إلى حد معين) وذلك حسب حساسية النسج المعالجة وكذلك

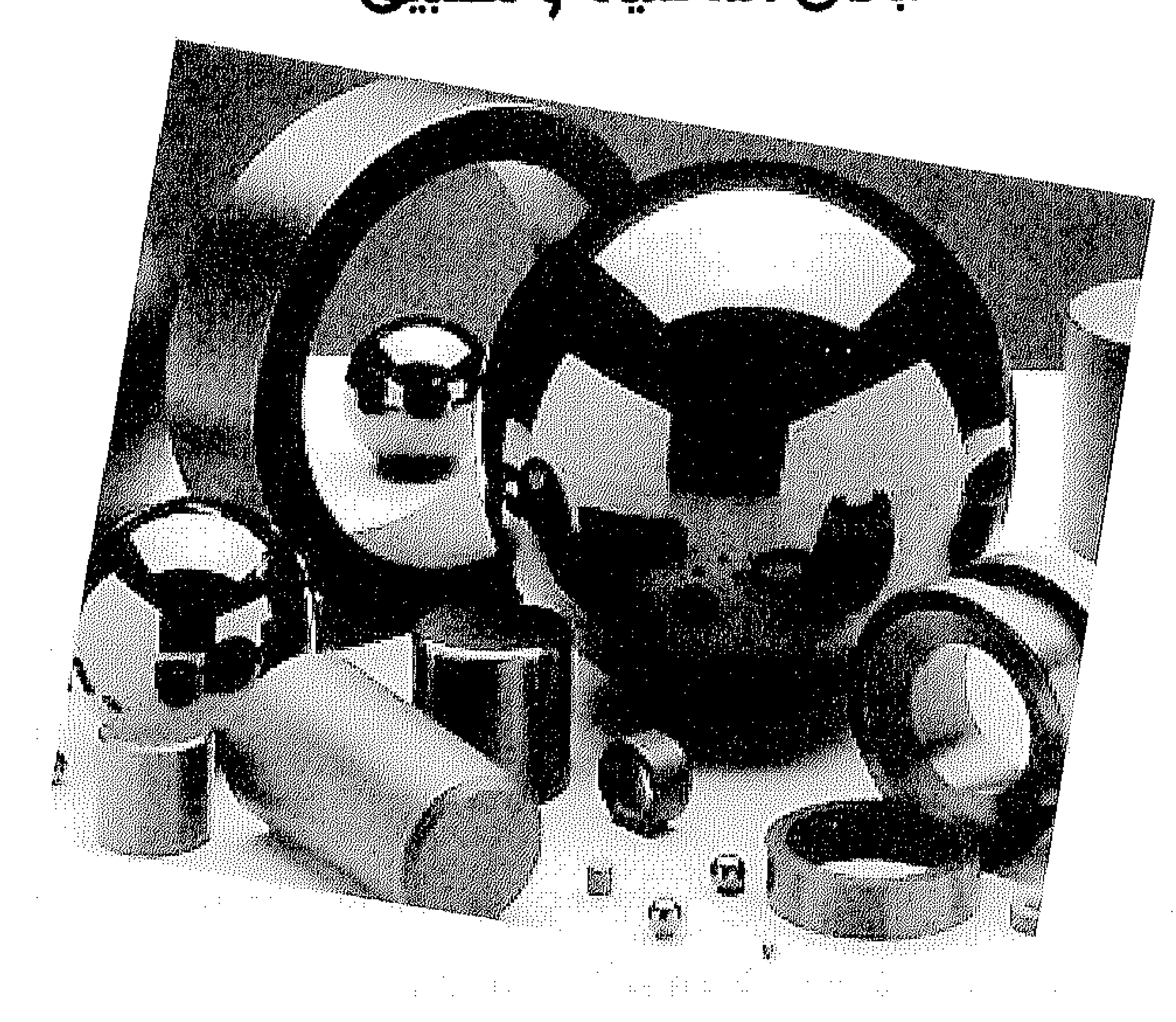
كمية الأشعة . وهذا جدول بدرجة حساسية الأعضاء تجاه الأشعة :الخلايا الدموية - الخلايا المنتجة -العظام الفتية أعضاء حساسة جداً -الجلد -الغدد - العضلات أعضاء تستجيب للأشعة -الأعصاب - العظام الناضجة أعضاء مقاومة نسبياً للأشعة .

التأثيرات الوراثية:

يمكن للأشعة أن تُحدث طفرات في الشيفرة الوراثية في معظم الخلايا وبالذات المولدة للدم. إن التأثير الضار على المورثات ينتقل إلى أجيال بعيدة .

الفحوصات اللاإتلافية للمواد الهندسية

مبادئ أساسية وتطبيق



الفصل الرابع

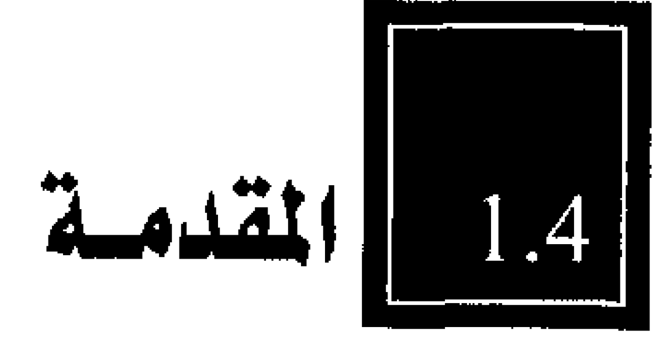
الفحـــص بأشعة كاما

Test by Gama-Ray



الفصل الرابع

الفحـص بأشعة كاما Test by Gama-Ray



1.4 المقدمـة

لحساب كمية الطاقة المتولدة أثناء التفاعلات الكيميائية جميعاً، بما فيها تلك التفاعلات الأكثر توليداً للطاقة، نجد أن للعلبة الصغيرة العجيبة (من مادة كيميائية غامضة التي تعطي طاقة تكفي لتحريك سفينة لعدة سنوات). التي يمكننا أن نستخدمها طاقة تكاد لا تنضب مازالت بعيدة المنال، وكما لو كان قدر لها أن تظل بعيدة عن حلم الإنسان. فاحتراق البارود الأسود (KNO_3) ما هو إلا تفاعل كيميائي بحيث يتم في فترة زمنية صغيرة جداً بين جزئين من نترات البوتاسيوم وذرة من الكبريت وثلاث ذرات من (C) وينتج من التفاعل ما يلي:

$$KNO_3 + S + 3C \Rightarrow (KSO_4 + N_2 + CO_2) + CH_4 + CO + H_2O + NO$$

في الحقيقة (1kg) من أجود أنواع الوقود في العالم يمكن أن يحرك أصغر قطار لمسافة (300m-100) والسيارة (10 - 13 km) وبإمكانه أن يقذف جسم وزنه (1 kg) نتيجة التقرقع أو الانفجار مسافة (15 - 10 km) وخلال معركة الإنسان مع الطبيعة لم يصادف أية معجزة بنسف صخرة من البارود وبقي الحصول له الطاقة من كمية متناهية بالصغر من الطاقة حسب معادلة اينشتاين في فكر الإنسان.

2.4 نبذة تاريخية

لقد ثبت بدرجة كبيرة لدى العلماء وفي مطلع القرن العشرين عن تركيب المادة بأنها تتكون من تراكيب مختلفة من عدد غير كبير نسبياً من العناصر الأساسية. وثبت أن ذرة أي عنصر هي الجزء الأصغر من المادة وغير قابلة للانقسام

والـذي يبقـى محتفظاً بكـل خـواص المادة الأصلية. والجـزء بـالجزيء ويتفكـك بتقسيمه إلى مركباتـه الـذرات وعندئذ يفقـد خـواص المادة. لـذلك فـأن محـاولات الكيميـائيين في العصـور الوسـطى وفي مطلـع القـرن العشـرين في تحويـل أحـد العناصر إلى عصراً آخر كتحويل الزئبق إلى الرصاص قد بائت بالفشل. وفي عـام 1797 ميلادي اكتشـف العـالم الفيزيـائي الإنكليـزي تومسـون بعـد تطبيقـه فرضيته لنمـوذج الـذرة. إلكـترون (كهـرب) وهـو الجسـم ذو شـحنة سـالبة وقـاس النسبة (e/m) له، ويعد هذا الاكتشـاف أعظم اكتشاف في حينه. وبعد ذلك قاس كتلـة الإلكـترون وجـد أنهـا تسـاوي أصـغر بـ 1863 مـرة مـن ذرة (H) وشـحنته تساوي (4.8×10^{-10}) وحدة كهروستاتيكية.

وبعد ذلك حدث تعارض مع التصور الشائع لعدم قابلية الذرة للانقسام حيث يتم اكتشاف مادة ذات سلوك يختلف عن كل المواد المعروفة في ذلك الوقت. وفي بداية 1896 قام العالم الألماني رونتجن باكتشافه المدهش الـذي خلد باسمه على مر السنين فقد اكتشف أشعة (X-ray) المعروفة بأشعة رونتجن، وهـذه الأشعة قادرة على النفاذ في الورق والخشب وجسم الإنسان وفي الصفائح أيضاً. وعنـدما يتعرض في الظلام لوح فوتوغرافي حساس لهذه الأشعة فأنه يسود كما لـو تعـرض لأشعة الشمس. وأعاد العلماء في كل بقاع العالم تجربة رونتجن هذه لدراسـة هـذه الأشـعة الجديـدة وخواصـها ومنهـا ظهـور بقعـة صـغيرة مضـاءة بلـون باهـت أصـفر وأخضر علـى جـدران الإنبوبـة الـتي اسـتخدمها رونتجن لأول مـرة في المكـان الـذي تخرج منه هذه الأشعة الغامضة النفاذ. ولم يستطع رونتجن نفسه ولا أي عـالم غيره في ذلك الوقت تفسير سبب حدوث هذا التوهج، كما مر ذكره.

وجذبت هـذه الظـاهرة (توهج زجاجة رونتجن) انتباه هنـري بكريـل (عـالم فيزيائي فرنسي) فتعرف على طريقة عمل الإنبوبة بالتفصيل. ووصل إلى إقنـاع بـأن هـذا التـوهج هـو السـبب الحقيـق لانبعـاث الأشـعة الجديـدة. وكـان (بكريـل) مـن العلماء الذين تعرفوا إلى بعض المواد المتوهجة كانت تسمى (فلورسنت). وتوصل

بعدها إلى قناعة أن هذه المواد المتوهجة لابد أن تبعث بأشعة رونتجن أو أشعة متشابهة لها وبدرجات متفاوتة ولم يتناول أحدا قبل رونتجن هذه الظاهرة بشيء من التفصيل. ولاختبار صحة استنتاج بكريل أحضر شخصياً لوحاً فوتوغرافياً حساساً ولفه بعناية في عدة طبقات من الورق الأسود، ثم وضع عليه قطعة صغيرة من مادة متوهجة (من أملاح اليورانيوم) مصادفة وهذه المادة كانت تتوهج بتأثير ضوء الشمس توهجاً شديداً.

وكانت فكرة بكريل هو أن هذه المادة التي تتوهج عند تعرضها إلى الشمس سوف تبعث ليس بالضوء فقط بل بأشعة رونتجن النفاذة والتي لا تراها العين وأن هذه الأشعة سوف تنفذ خلال طبقات الورق الأسود. وقد نجحت التجربة بشكل مذهل فبعد ساعات حمض بكريل اللوح الحساس وشاهد عليه آثار الأشعة المنبعثة من ملح اليورانيوم وبعد إعادة التجربة استعد بكريل إلى نشر مقالة على اكتشافه الجديد. ولكن لحسن الحظ ولشعوره بصعوبة كسب ثقة العالم في نتائج تجاربه تغلب عليه فقرر أعادة بصورة أدق وبعناية أكثر. فقد حدث أن حلت أيام غائمة اختفت فيها الشمس تماماً وراء السحب الكثيفة مما اضطر بكريل إلى تأجيل تجاربه لحين شروق الشمس. واحتفظ باللوح الحساس المغلف بطبقات الورق الأسود مع القطعة الصغيرة لملح اليورانيوم في درج المكتب بشكل عشوائي بحيث كانت هناك قطعة من النقود المحتفظ بها بين اللوح الحساس وقطعة الملح اليورانيوم، وبعد عدة أيام أشرقت الشمس وقرر بكريل أن يحمض اللوح الحساس للاحتياط ولقد اندهش بشكل مثير جداً عندما لاحظ آثار أشعة رونتجن المنبعثة مع ملح اليورانيوم. بل أدهش أكثر عندما رأى آثار قطع النقود التي كانت مع اليورانيوم واللوح الحساس، وليس هذا فقط بل أن الصورة إنطبعت بوضوح أكبر مما كان في التجارب الأولى.

هذا بالرغم من أن اليورانيوم لم يكن تعرض لضوء الشمس وهو في درج المكتب وخصوصاً في الأيام الغائمة، ولولا الأيام الغائمة لأقتصر بكريل على

سلسلة تجاربه الأولى التي بدأت مؤكدة استنتاجه الأول تمام التأكيد ، لتأخر اكتشاف علمي على درجة عظيمة من الأهمية لسنين عديدة. وبعد عدة تجارب تكميلية أخرى كافية لتقرر بلا جدال أن كبريتات اليورانيوم والبوتاسيوم تبعث أشعة قوية غير مرئية شبيهة من حيث تأثيرها بأشعة رونتجن وذلك بغض النظر عما إذا كان الملح قد عرض لضوء الشمس أم بقى في الظلام. وفي عام 1896 اكتشفت ظاهرة فيزيائية جديدة على انبعاث أشعة غير مرئية شبيهة بأشعة رونتجن من أملاح اليورانيوم. ولقد قدر لهذه الظاهرة أن تصبح نقطة انطلاق الفيزياء الحديثة في القرن العشرين.

3.4 مدام كوري

إن اكتشاف بكريل جذب انتباه كل علماء العالم، لأنه انبعاث الأشعة الشبيهة بأشعة رونتجن من قبل المعادن الطبيعية كان غامضاً وغير مفهوم على الإطلاق، ومن ضمن هؤلاء العلماء الذين اهتموا بهذه الظاهرة العالمة (ماريا مكلود فكايا) زوجة العالم الفرنسي كوري وكانت تعمل حينذاك في مختبر بكريل في باريس وماريا مكلود فكايا شابة بولونية ذهبت إلى فرنسا لإكمال دراستها.

وظاهرة اسوداد اللوح الفوتوغرافي عند تعرضه لتلك الإشعاعات المجهولة لها دور كبير جداً في اكتشاف كنهها وكان اهتمام مدام كوري هو البحث عن طرق أكثر دقة لمتابعة خواص وطبيعة هذه الإشعاعات، واستخدمت مدام كوري في أبحاثها جهاز الالكتروسكوب وهو اكتشاف الكهربائي المدرسي وهو عبارة عن قضيب معدني مثبت في سداد من مادة عازلة جيداً وثبت في الطرف الأسفل للقضيب صفيحتين رقيقتين من الألمنيوم وعلى جانبه تدريج لحساب زاوية الإنحراف لصفيحتي الألمنيوم.

ولقد لاحظت مدام كوري وزوجها أنه عند توجيه من أشعة رونتجن إلى المكشاف الكهربائي وكذلك إذا وضعت بداخله مادة مشعة تبعث الإشعاع الذي اكتشفه فأن الصفيحتين سوف تنخفض مقتربتا من بعضها أي أن المكشاف يفرغ شحنته. فتحت تأثير الإشعاع فأن جزئيات O_2 و N والهواء سوف يتأين إلى أيونات سالبة وموجبة وتنجذب هذه إلى القضيب المكشاف المخالف لها فتعادل شحنتها. وقامت بإجراء أبحاثها على جميع المواد المعروفة لديها آنذاك والتي تحتوي اليوانيوم وتبين لها أنه كلما ازدادت نسبة اليورانيوم في مادة ما، كلما قل انفراج ورقتا المكشاف الكهربائي أي كان التأثير قوى، بحيث رأت المكشاف الكهربائي يفرغ شحنته بأسرع ما يكون في حالة اليورانيوم النقي، وأطلقت ماريا مكلود فكايا على هذه الحالة النشاط الإشعاعي.

لقد اكتشفت ماريا بعد ذلك خامين طبيعين يحتويان على اليورانيوم وهما مادة الصمغ اليوراني المستخرج من مدينة بصيموف التشيكية وكذلك مادة الهالكوليت تنبعث منها إشاعات أخرى أقوى بمرتين مما ينبعث من اليورانيوم. وقد انشغلت مدام كوري بهاتين المادتين حيث استنتجت أن المادتين تحتويان على عنصر آخر وبنسب غير معروفة وقد انشغل معها – زوجها وهو عالم فرنسي فيزيائي – وبعد عمل شاق استمر لعدة سنوات على بضعة أطنان من رماد اليورانيوم الخام وضعت تحت تصرفهما استطاعا الحصول على مركب شديد الإشعاع من – الذي كان يحتوي على عنصر لم يكن معروف آنذاك فأطلقوا عليه البولونيوم تكريماً لـ بولندا وطن كوري الأم.

واستطاع الزوجان كذلك أن يكتشفا ويستخرجا مركباً كلورياً من مادة ذات نشاط إشعاعي أكثر قوة وتأثير بشكل كبير أسموه الراديوم أي المشع وذلك عام 1898 حيث حضرا (1.5 gm) من ملح كلوريد الراديوم من طن واحد من الخامات المشعة واستخلصا حبيبات الراديوم المعدني الذي كان نشاطه

الإشعاعي أقوى من نشاط اليورانيوم بملايين المرات مما جعل الراديوم مادة مدهشة.

4.4 خواص مادة الراديوم

هنالك مجموعة من الخواص التي يتمتع بها الراديوم والتي يمكن إدراجها كالآتي :

1 - اختراق طبقة سميكة من الرصاص بحيث تكفي لمنع أشعة رونتجن تماماً.

2 - تشع أملاح الراديوم ضوءاً أزرق خافتاً وفي الظلام تضيء الشاشة المغطاة بمادة ($ZnSO_4$) أو اليورانيوم تحت تأثير أشعة الراديوم.

3 - تلون الزجاج الأبيض الناصع بألوان متعددة تحت تأثير أشعة الراديوم.

4 - يمكن إكتشاف أقل كمية من الراديوم، بحيث وزن كمية (1×10^{-9} gm) من الراديوم يمكن أن تأين وبشكل أقوى جداً نتيجة للإشعاعات المنبعثة من تلك الكمية.

5 - يحدث أضراراً كبرى على الكائنات الحية واتضح أن الإشعاعات تكل خطر بالغ وكان بكريل ومدام كوري وزوجها أو الضحايا، وكان أهم ما يدهش أنه لم يحدث أي تغير في الراديوم نفسه أو في وزنه أثناء هذه العملية.

ويجدر بنا أن نذكر كلمات قالها العالم الكبير الجليل فيل تمانين أثناء منحه وزوجته جائزة نوبل تكريما لأعمالهما العظيمة في مجال الإشعاع ولاكتشافات جليلة (ليس من العسير أن نرى الراديوم إذا ملكته يد مجرحة، يمكن أن يصبح خطراً بالغاً على البشرية). ومنها نتساءل هل من المفيد حقاً للبشرية أن تعرف أسرار الطبيعة؟ وهل نضجت البشرية بشكل كافي لاستغلال هذه المعرفة استغلالاً سليماً، أم أن هذه المعرفة ستعود بالضرر عليها؟ إن

اكتشاف نوبل للديناميت يعد مثالاً ساطعاً في هذا المجال فقد استغل الإنسان هذه المواد الشديدة الانفجار في أعمال مدينة جليلة، لكن نفس هذه المواد تحولت إلى وسيلة رهيبة من وسائل التدمير في أيدي كبار المجرمين الذين زجوا بالشعوب في طريق الحروب.

إنني اعتبر نفسي ضمن هؤلاء الناس الذي يتفقون بأن الاكتشافات الجديدة سوف تفيد الإنسان أكثر مما قد تضر. فقد حدث ذات مرة أثناء استعداده لإلقاء محاضرة أن وضع في جيب صدريته إنبوبة تحتوي على أملاح الراديوم وبعد بضعت ساعات ظهر حرق شديد على جلد جسمه الذي كان يقع تحت جيبه ما لبث أن تقرح ولم يلتئم إلا بعد بضعة شهور. هناك خاصية أخرى ميزت الراديوم عن جميع المواد المشعة المعروفة في ذلك الوقت وهي:

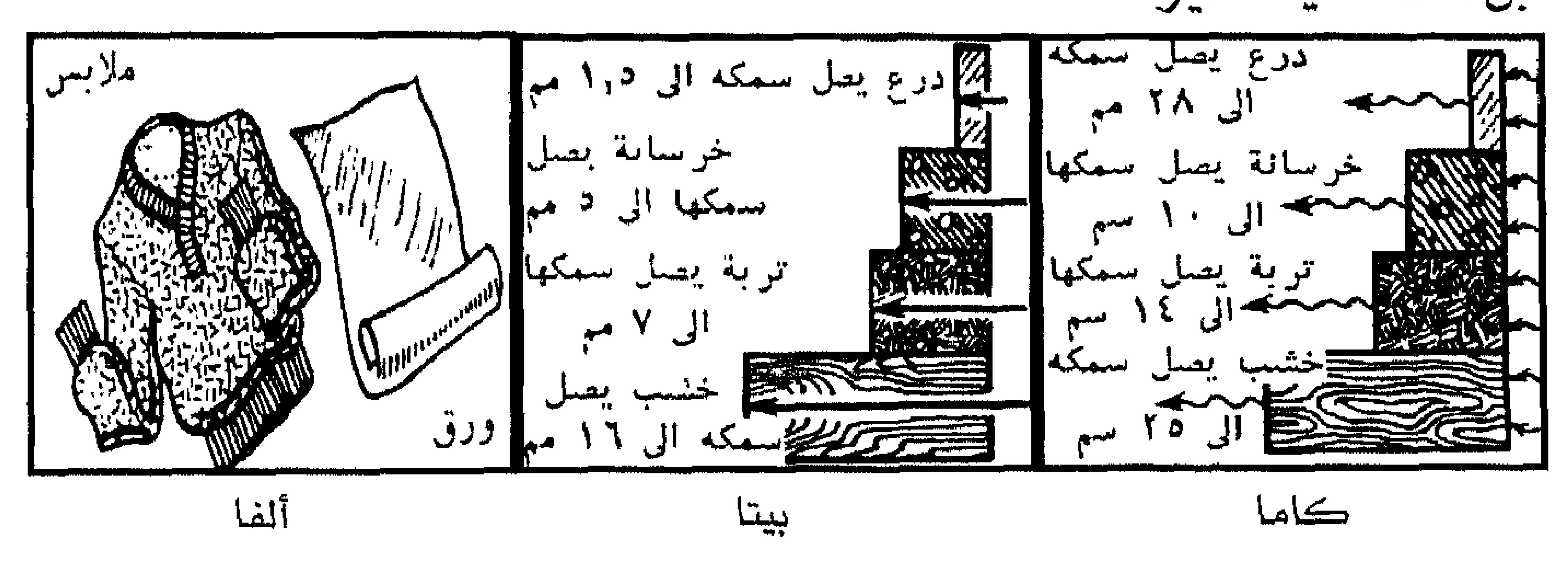
عندما لاحظ كوري لأول مرة، تكون لمعدن الراديوم دائماً درجة حرارة أعلى مما يحيط به من مواد وقد بينت القياسات أن (1 g) من الراديوم يعطى في كل ساعة حوالي 163 سعرة حرارية وقد أمكن بواسطة الحرارة المنبعثة من (1 g) من الراديوم رفع درجة (2000 gm) من الماء من الصفر المئوي إلى درجة الغليان خلال ستة أيام.

5.4 دراسة الأشعة الغامضة

بعد الحصول على بضعة مواد مشعة بدأت دراسة مستمرة للأشعة الغامضة المنبعثة من تلك المادة. وفي ذلك الحين أجريت عدة تجارب لتوضيح ماهية الأشعة الغامضة هل هي جسيمات مشحونة أم ماذا؟ فتم إمرار حزمة ضيقة من الأشعة المنبعثة من مصدر مشع بين قطبين مغناطيس قوي، والمعروف من تجارب تومسون انحناء مسار أي جسيمات مشحونة تحت تأثير المجال المغناطيسي أو الكهربائي. وقد ثبت صحة فرض العلماء حيث تحت تأثير المجال المغناطيسي، ظهر أن الإشعاعات المتجانسة الصادرة من المواد المشعة تنقسم فجأةً إلى ثلاث أقسام. حيث

إنحرف قسم منها إنحرافاً قليلاً، وقسم منها ذات إنحراف أكبر كإنحراف الإلكترونات أو الجسيمات السالبة الشحنة وكان إنحراف القسم الأول باتجاه القطب الشمالي وسميت بأشعة (ألفا)، والقسم الثاني إنحرف باتجاه القطب الجنوبي وسميت بأشعة (بيتا)، وبقى قسم آخر لم ينحرف مساره فقد سمي بأشعة (كاما) وتم دراسة هذه الأشعة بأنواعها الثلاث فوجد أنه كلاً منها تمتص خلال مواد مختلفة.

فالورقة العادية كافية لحجز أشعة (ألفا) تماماً، أما أشعة (بيتا) هي أكثر نفاذا حيث باستطاعتها النفاذ في طبقة الألمنيوم بسمك بضعة (ملم) ومن قياس شحنتها وكتلتها تبين أنها سيل من الإلكترونات وسميت بجسيمات (بيتا)، أما القسم الآخر والثالث من هذه الأشعة الغامضة وهي أشعة (كاما) وهي الأشعة التي سودت اللوح الفوتوغرافي في تجربة كريل (إذ أن جسيمات ألفا وبيتا) تمتص من الغلاف قد اتضح أنها كأشعة رونتجن عبارة عن ذبذبات كهرومغناطيسية ذات تردد عالي جداً، تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء أي بسرعة (3×10^{8} m/s) وتشكل أشعة (كاما) خطراً بالغاً على جسم الإنسان والحيوان إلا أن طاقتها تضعف بازدياد المسافة، إذ تتبدد الطاقة في عملية تأيين الجزيئات والذرات التي تقابل الأشعة في مسيرها.



شكل (1) : قدرة الجسيمات والإشعاعات المنبعثة من الراديوم على إختراق المواد المختلفة

6.4 جسيمات ألفا

لقد ثبت من سير التجارب أن أشعة ألفا هي عبارة عن جسيمات مشحونة بشحنة موجبة. وهي أثقل من الإلكترونات حوالي (7000) مرة، وأن هذه الجسيمات تنحرف في المجال المغناطيسي أقل من إنحراف الإلكترونات وذلك لأنن كتلتها أكبر من كتلة الإلكترونات وسرعتها أقل. ومن الدراسة العميقة من قبل العالم الإنكليزي (رذرفورد) على دراسة جسيمات ألفا تبين أن لها ذرات الهليوم متأينة مرتين أي أن ذرات الهليوم فقدت إلكترونين منها وعليه اكتسبت شحنتين موجبتين وأعد رذرفورد تجربة كما موضح أدناه حيث وضع مادة مشعة (قطعة صغيرة من الراديوم) بوعاء زجاجي ذو جدارين الأول يسمح لدقائق بيتا من اختراقه والثاني لا يسمح لدقائق ألفا بالنفاذ. وبعد عدة أيام تبين وجود كمية ملحوظة من غاز الهليوم في الفراغ بين الجدار .

7.4 جهاز رذرفورد

إستخدم رذرفورد في تجاربه الأخيرة جهاز الاسبينتاريسكوب (يعني جهاز ملاحظة النجوم) الذي اخترعه الفيزيائي الإنكليزي كروس وهو جهاز بسيط ولكنه ملائم لمشاهدة جسيمات ألفا المتعددة. والجهاز موضح كما في لرسم حيث يعمل بداخله ابرة مثبت في أعلاه كمية صغيرة من أملاح اليورانيوم ومثبتة أمام شاشة من كبريتيت الزنك ($ZnSO_4$) وفي أعلى الجهاز توجد عدسة وعند النظر من خلال العدسة يلاحظ بوضوح كيف تضيء الشاشة بمجرد وقوع جسيم من جسيمات الفا عليها. ومن ثم يرى عدد هائل من النجوم الناصعة يضاء ويطفئ في الظلام.

8.4 مجموعة العناصر المشعة

توجد في الطبيعة ثلاث سلاسل مشعة هي اليورانيوم، والاكتينوم ، والراديوم. تبعث هذه العناصر أشعة الفا بصورة رئيسية إضافة إلى أشعة بيتا وكاما لذلك وجد أن العدد الكلي لكل من سلسلة هذه العناصر هو من مضاعفات العدد (4) وهو العدد الكتلي لأشعة الفا مضاف إليه كمية ثابتة تختلف من عنصر لآخر حسب التسلسل الإشعاعي فيها. فالعدد الكتلي لأعضاء سلسلة الثوريوم ينتج العلاقة (4n) وسلسلة اليورانيوم (4n+2) والاكتينوم (4n+3) ومن هذه العلاقات الثلاث ينتج وجود سلسلة رابعة تنتج العلاقة (4n+1). وفعلاً ثبت وجود سلسلة التتيونيوم التي انتهت من الطبيعة بسبب قصر عمر نصف أعضائها.

وقد أوضح رذرفورد بالاشتراك مع الفيزيائي الإنكليزي المشهور سودي ماذا يحدث لذرات المشعة ، حيث فرضنا أن ذرات المواد المشعة ليست ذات تكوين ثابت متين فهي تستطيع الانقسام والانحلال باعثة أثناء ذلك جسيمات معينة تتحول بعد ذلك إلى عنصر جديد. فبإشعاع جسيمات (الفا) من الراديوم مثلاً يتحول هذا الأخير إلى غاز الرادون المشع. ونتيجة لانحلال الرادون الذاتي تظهر ذرات عنصرين جديدين هما رادون وهيليوم ولا يتوقف هذا الانحلال الإشعاعي إلا أن تتحول آخر ذرة من الراديوم إلى رادون هيليوم ثم بعد ذلك يتحول الرادون بإشعاعه جسيمات (الفا) متحولاً إلى مادة جديدة هي الراديوم (A) وهو مادة مشعة أيضاً ولا تتوقف عملية الانحلال الإشعاعي إلا عند تحول كمية الراديوم إلى مادة الرصاص المعروفة.

وتوجد العناصر في السلاسل الطبيعية في الطبقة الأولى من قشرة الأرض ومعظم الطاقة المنبعثة منها تتحول إلى حرارة تمتصها المواد الطرية منها فاليورانيوم يوجد في التربة في الصخور بنسبة مختلفة في أنحاء العالم. فصخور

الفوسفات في أمريكا تعتبر مصدراً تجارياً لليورانيوم ولكت صخور الفوسفات في أفريقيا تحتوي على سدس كمية اليورانيوم في صخور الفوسفات في أمريكا. أما الراديوم فيوجد في الصخور البركانية في الغرانيت كما أن التشابه الكيميائي لبعض العناصر بسبب زيادة امتصاصها من قبل بعض النباتات. والراديوم نفسه يوجد في خامات اليورانيوم. وكذلك يوجد في الثوريوم في مستودعات ضخمة من خاماته في الهند وكندا والبرازيل في رمال تحتوي على الموتازيت وهو خام يحتوي على الثوريوم واللنثانوم والسيريوم ويبين الجدول أدناه الصفات الرئيسية الأربع

سلسلة	أول عنصر	آخر عنصر	أطول عمر النصف	الغاز المشبع
الثوريوم 4n	ثوريوم 232	رصاص208	1.4×10^{9}	الثورون220
التيتونيوم 4n+1	بلوتونيوم241	بزموث209	2.2×10^{6}	لا يوجد غاز
اليورانيوم4n+2	يرانيوم 238	رصاص 206	4.5×10^{9}	الرادون 222
الاكتينيوم 4n+3	يورانيوم 235	رصاص207	7.1×10^{8}	الاكتينون 219

تصنف المصادر الشمعة الأرضية حسب صفاتها الفيزيائية إلى صنفين المنفردة والسلاسل والنوع الأول يمثل المصدر المشع الذي يتحول إلى نظير مستقر بصورة مباشرة.

$$C_{6}^{14} \rightarrow \beta + N_{7}^{14}$$

أما النوع الثاني فهو الذي يتحول إلى النظير المستقر بعد سلسة تحولات.

$$U_{92}^{235} \rightarrow \alpha + Tn_{10}^{234} \rightarrow \beta + Pa_{91}^{234} \rightarrow Pb^{206}$$



9.4 تعريفات أساسية

النشـاط الإشـعاعي (A) : هـو المعـدل الـزمني لتحـول النـوى غـير المسـتقرة ويتناسب هذا المعدل طردياً مع عدد النوى (N).

$$A = dN / dt = \lambda N$$

وتوضح الإشارة السالبة إلى نقصان في العدد بسبب التحلل ويسمى ثابت التناسب λ بتناسب التحلل الذي تكون وحدات مقلوب الزمن أما وحدة النشاط الإشعاعي فقد كانت الكوري النشاط الإشعاعي لغرام واحد من الراديوم 226 ويعاد $10^{10} \times 3.7$ تحلل ثانية. أما في الوحدات العالية (SI) فلقد اعتمدت من قبل بكريل كوحدة للنشاط الإشعاعي هو ما يعادل تحلل واحد في الثانية. ومن المعادلة :

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

10.4 كشف الأشعة النووية

لكل فرع من فروع العلم أدوات خاصة بالعلماء لتعرف على ماهية العلوم التي يبحثون عنها فمثلاً البايلوجي يستخدم الميكروسكوب وكذلك الفيزيولوجي ويستعمل الكيميائي كل الأجهزة والأدوات الخاصة وعدد كبير من المواد الكيميائية للكشف عن ماهية العلم الذي يتحقق منه أما في علم الفيزياء النووية فمعظم الظواهر التي تدرس لا يمكن ملاحظتها مباشرة بحواس الإنسان التي لا تكفل التأثر بالذرات المنفردة أو بالجسيمات النووية. ولكي يكتشف وجود تلك الجسيمات يضطر الإنسان إلى إتباع طرق مختلفة غير مباشرة وكل هذه الطرق يكون أساساها عادة هو ظاهرة تأين المواد بتأثير الجسيمات المشحونة .

تكون الذرة في حالتها العادية متعادلة كهربائياً في غرفة التأين الموضحة أدناه يستطيع كشف الإشعاعات فإذا ما مر بالقرب منها جسم مشحون له طاقة

معينة فهو عند اصطدامه يستطيع إخراج إلكترون أو عدة إلكترونات من غلاف الذرة ويحدث التأين (إلكترونات سالبة وأيونات موجبة) وسوف تجري الأيونات الموجبة إلى القطب المعدني والإلكترونات إلى الجزء المعدني وهذا يعني أن في هذا الوسط يمر تيار كهربائي لم يكن له وجود قبل عملية التأين، ومن السهل اكتشاف التيار الكهربائي بوسائل عديدة وعلى أساس هذه الفكرة صمم أو جهاز مبسط الأبحاث النووية وهو غرفة تأين حيث يتم قياس التيار الكهربائي بواسطة الكترميتر المثبت في الغرفة وعن طريق إنحراف مؤشره يمكن معرفة كمية الجسيمات المارة خلال الغرفة.

11.4 عداد كايكر - مولر

قام العالم الألماني (كايكر) بالاشتراك مع الفيزيائي (مولر) بتصميم آخر لجهاز اكتشاف الجسيمات المشحونة أخذا في الاعتبار عيوب غرفة التأين والجهاز عبارة عن إنبوبة معدنية مشدودة في محورها خيط عمودي، ويوجد بين الخيط المعدني والإنبوبة مجال كهربائي (400 – v 800) وعادة يكون الخيط قطباً موجباً ويملأ الإنبوبة بغازات غير مشحونة يعادل ضغطها حوالي (10.0) ضغط جوي.

ويُأين الجسيم المشحون الغاز الموجود في الإنبوبة عند مروره من خلالها. وتقع الإلكترونات التي تطرد من الذرة تحت تأثير المجال الكهربائي القوي الموجود بين خيط الإنبوبة، فتتشتت بسرعات كبيرة وتبدأ في تأين ذرات الغاز التي تقابلها في طريقها إلى الخيط. ونستنتج عن ضلك دفعة ثانية من الإلكترونات تندفع بسرعة كبيرة في المجال الكهربائي وتؤين مزيداً من ذرات الغاز. وهذا الجهاز حساس جداً لدرجة انه يمكن بواسطته عند الضرورة اكتشاف ظهور من إلكترون واحد أو أي جسيم مشحون في الإنبوبة يعتبر هذا الكاشف من أقدم الكواشف للأشعة النووية وما يزال منذ أول إستخدامه عام 1948 حتى يومنا هذا

من الكواشف الملائمة لكثير من التجارب لبساطة منظومته ورخص ثمنه وسهولة إستخدامه.

ونظراً للمجال الكهربائي المرتفع الذي يحفز المزيد من التفاعلات فالإلكترونات الأولية المتحررة تسبب من خلالها مسارها نحو الأنود تهيج الذرات التي تنتج منها فوتونات والتي تسبب بدورها تحرر إلكترونات من الكاثود أو الغاز ويحصل هذا عندما تزيد طاقة الفوتون على دالة الشغل لمادة الكاثود أن معدل دالة الشغل للمواد الموصلة ومن ضمنها مادة الكاثود تتراوح بمقدار (4إلكترون فولت) وهي أقل من طاقة تأين الغاز (1127) أو معدل طاقة اللازمة لإنتاج زوج إلكترون – أيون في الغاز .

12.4 أجهزة كشف الإشعاع النووي

يعتبر تصميم أجهزة الكشف الإشعاعي من أهم التطبيقات اللازمة لدراسة معرفة مرور الإشعاع خلال المواد أو تحسسه ومعرفة كمياته. تتوفر اليوم أنواع عديدة من الكشافات وكل مصمم لغرض معين أو لعدة أغراض مثل عداد كايكر أو غرفة التأين أو أعداد التلألؤ والعديد من هذه ألأجهزة قد ساعدت على توسيع الإمكانيات العملية في الفيزياء النووية ولازال العمل جاريا في تحسين الكثير منها وتطويرها. وخلال دراستنا هذه سنلقي الضوء على عدد محدد من هذه الأجهزة وحسب النوع. تقسم أجهزة الكشف النووي حسب الغرض والإستخدام والتصميم إلى نوعين رئيسين:

1 - أجهزة الكشف الإلكتروني.

2 - أجهزة الكشف المرئي.

والنوع الأول يعتمد في تحسسه وقياسه للإشعاع على الإشارات الكهربائية المتولدة فيها والناتجة عن مرور الإشعاع والجسيمات داخل المواد وما تفقده من طاقة فيها وعادة مثل هذه الأجهزة تستخدم لمعرفة عدد الإشعاع أو الجسيمات

وكذلك تحسس مرورها خلال قنوات معينة داخل المفاعل وكذلك لتحديد التي يوجد فيها الإشعاع أو مصادره. ومن هذه الأجهزة ما يلي:

1 - غرفة التأين.

2 - عدادات أشباه الموصلات.

3 - عدادات التناسب.

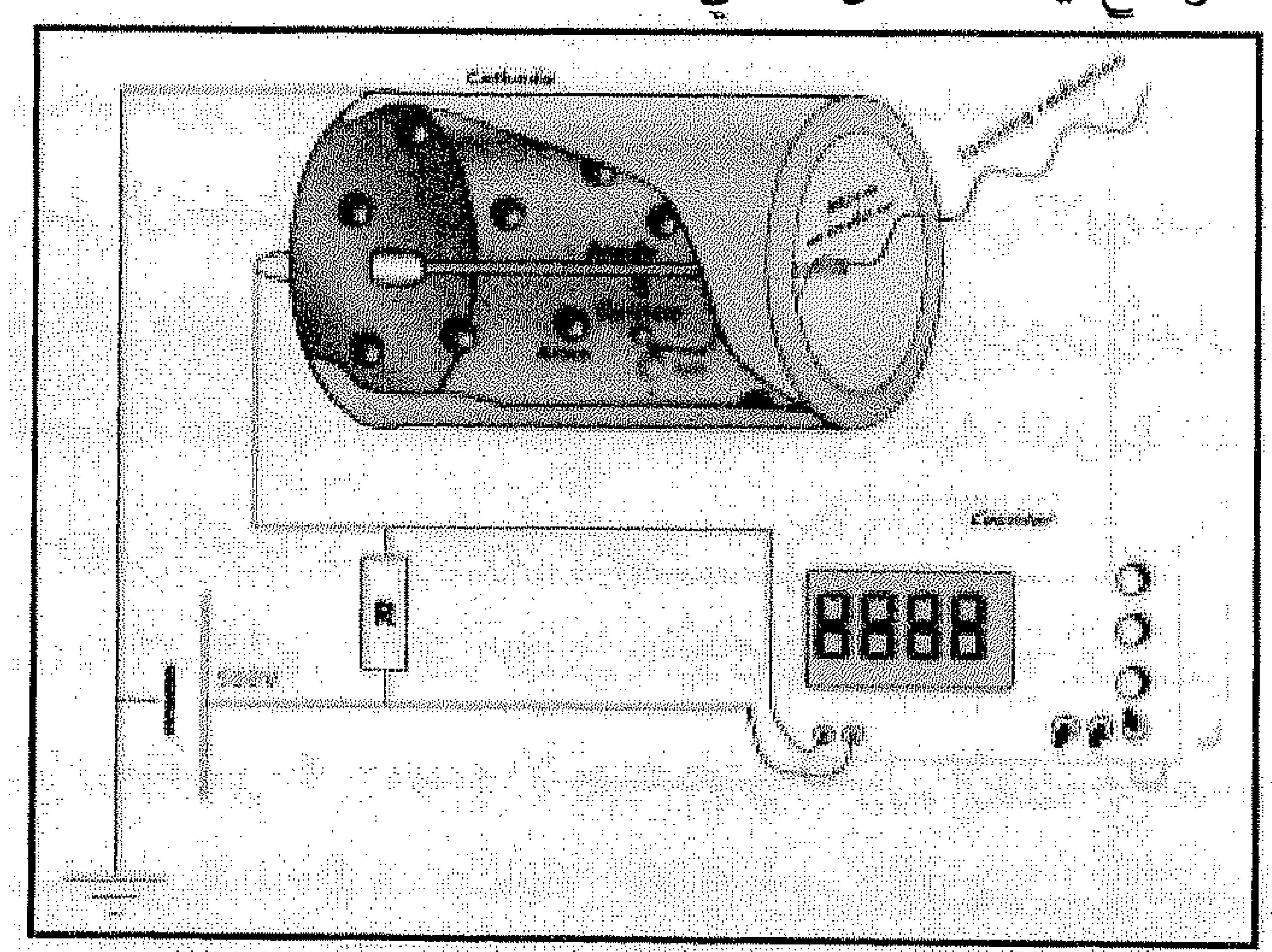
4 - عدادات كايكر – مولر.

5 - عدادات الوميض.

6 - عدادات شرينكوف.

وسنأخذ من هذه الأجهزة عداد كايكر بمزيد من التفصيل وذلك لشيوع استعماله في المختبرات التعليمية ومختبرات البحث.

عداد كايكر - مولر عبارة عن إنبوبة اسطوانية يتوسطها سلك رفيع معزول كما موضح في الشكل التالي:



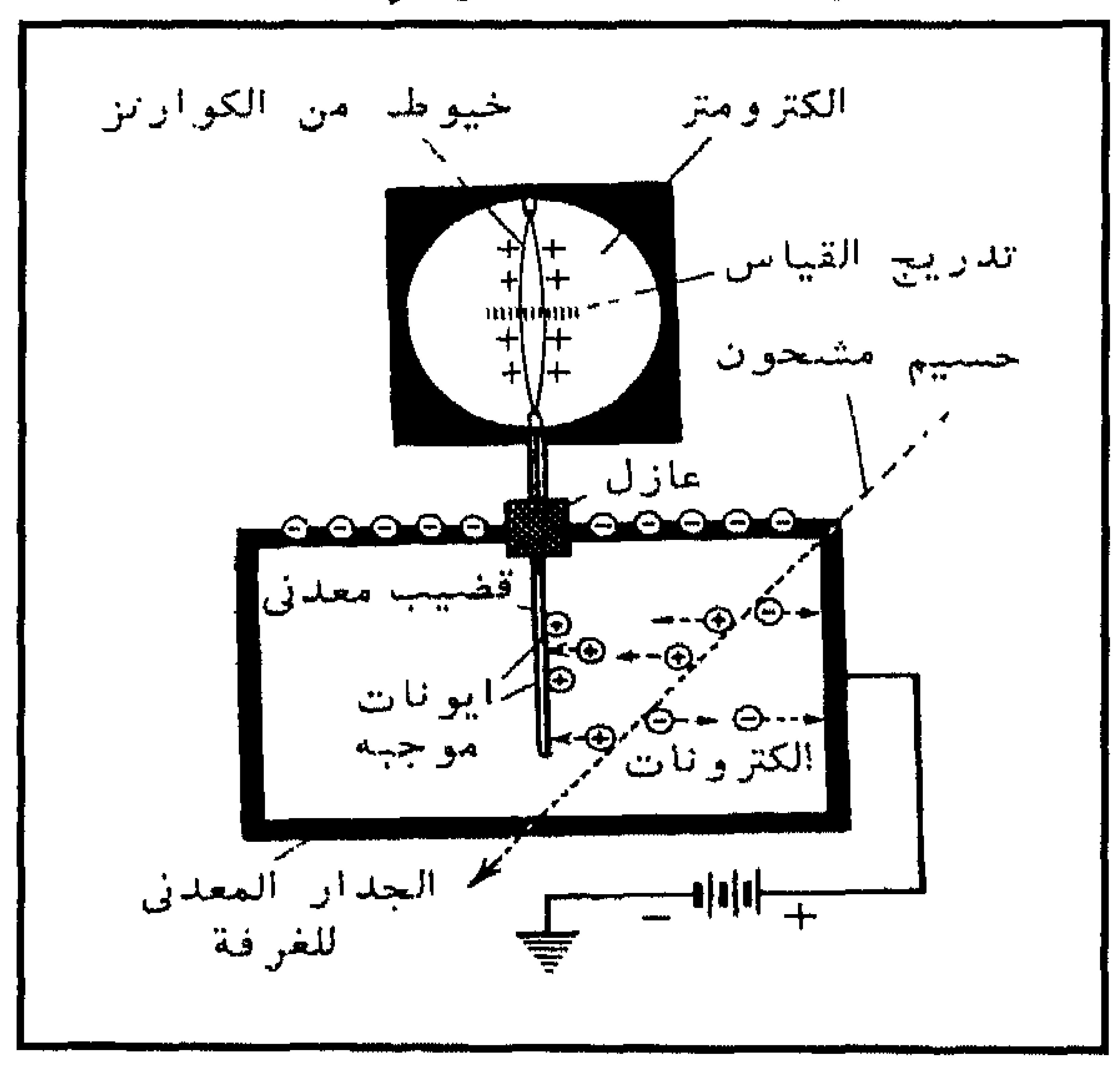
الشكل (1): مخطط للمكونات الأساسية لإنبوبة عداد كايكر

تملأ الإنبوبية عادة بغاز الاركون عند ضغط واسع (100 ملمتر زئبق) ومعه كمية قليلة من بخار الكحول وتكون نهاية الإنبوبة مغلقة بغشاء رقيق من المايكا. يزود المسلك المعدني بفولتية موجهة بحيث يكون الجهد قريبه عالٍ. فعند دخول الإشعاع أو الجسيمات المشحونة من فتحة الإنبوب فأنها ستحمل على تزين الغاز داخلها. ومن خلال عملية التأين تخرج الكترونات الذرات مكونة الأيونات السالبة وتكون الذرات التي تفقد إلكتروناتها ذات شحنة موجبة وتؤلف (الأيونات الموجبة) وبذلك يتكون لدينا أزواج من الأيونات الموجبة والسالبة وهذه الأزواج الأيونية تنجذب بدورها نحو الأقطاب المغايرة فالأيونات الموجبة تنجذب ببطء نحو الكاثود والأيونات السالبة نحو أنود الإنبوبة.

ولما كان المجال الكهربائي عند الأنود عال فأن الإلكترونات تحتاج إلى طاقة كافية لتؤين ذرات الغاز الأخرى، وهي بذلك تتعجل نحو الأنود مولدة تأين إضافي وهكذا، إضافة لذلك فأن تعجيل الإلكترونات قد يتسبب في توليد الإشعاع في بعض التصادمات وهذا الإشعاع ينتشر في جميع الاتجاهات داخل الإنبوبة متسبباً بتحرير إلكترونات أخرى في مختلف مناطق الإنبوبة وبذلك يتولد بالنهاية سيل من الإلكترونات مكونة أساساً من زوج من الأيونات الأولية وهذا السيل يتجمع على طول سلك الأنود في الإنبوبة مولداً نبضة من التيار الكهربائي وذات قيمة ملحوظة لتمر بعد ذلك خلال المقاومة، إن التيار المار في المقاومة يمكن أن يرسل إلى أجهزة التسجيل مكبرة ثانوية.

إن ارتفاع الإلكترونات قد يتسبب في توليد الإشعاع في بعض التصادمات وهذا الإشعاع ينتشر في جميع الاتجاهات داخل الإنبوبة متسبباً بتحرير إلكترونات أخرى في مختلف مناطق الإنبوبة وبذلك يتولد بالنهاية سيل من الإلكترونات مكونة أساساً من زوج من الأيونات الأولية وهذا السيل يتجمع على طول سلك الأنود في الإنبوبة مولداً نبضة من التيار الكهربائي وذات قيمة ملحوظ لتمر بعد ذلك خلال المقاومة. إن التيار المار في المقاومة يمكن أن يرسل إلى أجهزة

التسجيل من خلال مكبرة ثانوية. إن ارتفاع النبضة لا يعتمد على أزواج الأيونات المتولدة في البداية، ولهذا فأن النوع من الكاشفات لا يمكن من خلاله الاهتداء بالنهاية إلى نوعية الجسيمات أو الإشعاع الداخل أو طاقتها ولكنه يمكن أن يعطى معلومات جيدة عن عدد هذه الجسيمات أو تردد انبعاثها من المصادر المولدة لها ولعداد كايكر ميزة في كشف أضعف الجسيمات المؤينة والتي لا تستطيع أجهزة أخرى من كشفها وتحسسها الشكل التالي يوضح منحنى عمل الكايكر والمستخرج عن قياس معدل التسجيل مع الفولتية المسلطة على الإنبوبة ويتميز المنحنى بوجود هضبة واضحة والتي عندها يكون معدل تولد الأزواج الأيونية ثابتاً وعنده تثبت الفولتية المسلطة على الإنبوبة.



الشكل (2): مخطط لطريقة عمل غرفة التأين

أما النوع الثاني فهو أجهزة الكشف المرئية، ويتلخص عملها بقيامها بالكشف عن طبيعة الجسيمات أو الإشعاع من خلال الآثار التي يتركها نتيجة تفاعله داخل المنطقة الحساسة للجهاز الكاشف لمثل هذه الأجهزة فائدة كبيرة في الكشف عن طبيعة الجسيمات أو الإشعاعات وكذلك قياس طاقتها ومعرفة كتلتها ودراسة خواص تفاعلاتها النووية . ومن أمثلة هذه الأجهزة:

1 - المقنن الجيب.

2 - غرفة الحساب.

3 - غرفة الفقاعة.

4 - المستحلب النووي.

5 - كاشفات الحالة الصلبة للأثر.

6 - غرفة الشرارة.

وسنشرح جهاز المقنن الجيب باختصار فهو عبارة عن قلم لتسجيل كمية الإشعاعات ويشبه هذا الجهاز من حيث الحجم والشكل أقلام الحبر ويمكن تثبيته في جيب الباحث أو الفني ويحتوي في داخله على جهاز بسيط لتسجيل الإشعاع فإذا نظرنا داخل القلم أو المقنن وجدنا مؤشراً يتحرك داخله على مسطرة مدرجة بحيث يحدد كمية الإشعاع التي تعرض لها الشخص صاحب القلم وكلما زاد تعرضه للإشعاع زاد تحرك المؤشر نحو الرقم أعلى في مسطرة التدريج.

13.4 النظائر المشعة

النظير معناه المماثل أو الشبيه في الصفات والخواص ولما كانت صفات العناصر وتفاعلاتها الكيميائية تتوقف على عدد إلكتروناتها، وبالتالي لها نفس عدد البروتونات في نوياتها أن لها نفس العدد الذري ولكنها تختلف فيما بينها من ناحية الوزن الذري (البروتونات، النيوترونات) وذلك لاختلاف عدد النيوترونات الداخلة في نواة كل نظير. فلعنصر الهيدروجين مثلاً ثلاثة نظائر كما في الشكل التالي عي الهيدروجين العادي، والديتريوم والهيدروجين الثقيل والتريتيوم، ويلاحظ أن لهذه النظائر الثلاث للهيدروجين نفس العدد الذري (1). في نواة كل منها بروتوناً واحداً ولكن أوزانها الذرية هي على التوالي 1، 2، 3.

العدد الذري = عدد البروتونات 111= عدد النيترونات – 1

كذلك يوجد للفسفور ثلاث نظائر وللكبريت خمسة وهكذا. ويمكن الإطلاع على الملحق 3 للتعرف على كثافة النظائر المعروفة للعناصر وكذلك زمن عمر النصف وكتلها الذرية.

14.4 إستخدامات النظائر المشعة في الفحص اللاإتلافي

في عام 1957 صرحت الجهات المؤسسة لوكالة الطاقة الذرية العالمية من أنه (يؤمل أن توفر المصادر المشعة إستخدامات شتى ومنوعة لا يمكن توقعها تهدف إلى تطوير المعرفة وتحسين العمليات الصناعية والحياتية وستساهم في تحقيق التقدم الاجتماعي والاقتصادي لأمم العالم). إن تعدد وتزايد الطرق الناجمة لإستخدام المصادر المشعة في الطب والزراعة والعمليات الصناعية قد أثبت صحة هذه المقولة. وأن أصبح من الواضح بأن المساهمة التي تقدمها المصادر الإشعاعية المختلفة لسعادة ورفاهية البشرية تكافئ وتوازي المساهمة التي تقدمها الطاقة النووية. الشكل التالي يوضح صور لقسم تحضير النظائر في شركة امرشام الأمريكية.

فالوسائل النووية اليوميمكن أن تستخدم في أي مكان على الغالب لزياد مصادر الغذاء مثلاً أو لتحسين ورفع المستوى الصحي أو لزيادة الإنتاج الصناعي ولتقليل سعر الكلفة للبضائع بصورة عامة وكذلك لتطوير الموارد المائية. بالإضافة إلى ذلك فقد أدخلت المصادر المشعة في البحوث العلمية بنجاح منقطع النظير لتعطى العديد من الاكتشافات الأساسية وبالأخص في البايولوجي والكيمياء والتي لم تكن ممكنة بالطرق التقليدية كذلك فقد استطاعت العديد من البلدان من تحقيق فوائد كبيرة من إستخدام تكنولوجيا المصادر المشعة في حين الطاقة النووية لحد الآن لم تعمل أي شيء محسوس لتقليل الهوة فيما بين هذه الدول والدول المتقدمة.

15.4 التصوير بأشعة كاما

تعد الصناعة من أهم المجالات التي استفادت كثيراً من الإستخدامات المختلفة للنظائر المشعة، وتتمثل هذه الاستفادة أساساً في توفير الطاقة والمواد الخام والوقت والجهد. والأمثلة على الإستخدامات السلمية للنظائر المشعة في الصناعة تفوق الحصر، ومجمل القول أنه لا توجد حالياً صناعة ضخمة إلا وتقوم في خطوة من خطوات الإنتاج فيها بإستخدام النظائر المشعة. يتعرض هذا المقال إلى أحد التطبيقات الهامة للنظائر المشعة في الصناعة ألا وهو مجال التصوير بأشعة كاما وتعتمد تقنية التصوير الإشعاعي بأشعة كاما على أنه إذا وضع جسم بين مصدر إشعاعي وفيلم فوتوغرافي ظهرت له صورة تفصيلية على الفيلم بعد عملية الإظهار الكيميائي. والمصدر الإشعاعي في هذه الحالة أما أن يكون مولد الأشعة السينية وأما نظير مشع، وفي أغلب الأحيان تستعمل النظائر المشعة الباعثة لأشعة كاما في التصوير الإشعاعي بسبب قدرة هذه الأشعة على اختراق الأجسام.

وعند اختيار أحد النظائر المشعة لاستعماله كمصدر في التصوير الإشعاعي لابد أن يؤخذ في الاعتبار بعض الصفات والخصائص المهمة للنظير المشع مثل عمر النصف والطاقة وتوفر المصدر وكلفته. وتتميز النظائر المشعة عن مولدات الأشعة السينية بكونها صغيرة الحجم يسهل نقلها ورخيصة نسبياً، والطاقة المنبعثة منها ثابتة لا تتغير بتغير الظروف المحيطة. كما أن الأشعة المنبعثة من بعض النظائر المشعة مثل الكوبالت - 60 لها قدرة اختراق عالية يمكن استعمالها في تصوير مقاطع سميكة يجاوز سمكها 15 cm. وهناك طرق وأجهزة مختلفة التصميم للسيطرة على نقل المصادر المشعة من مكان إلى آخر. ويمكن تناول المصادر المشعة ذات النشاط الإشعاعي الواطئ باستعمال أنواع مختلفة من الماسكات اليدوية الطويلة (Mainpulators)، أما المصادر ذات النشاط الإشعاعي العالي فلا يمكن تناولها بأمان بهذه الطريقة. ولذا تستعمل أجهزة خاصة مؤلفة

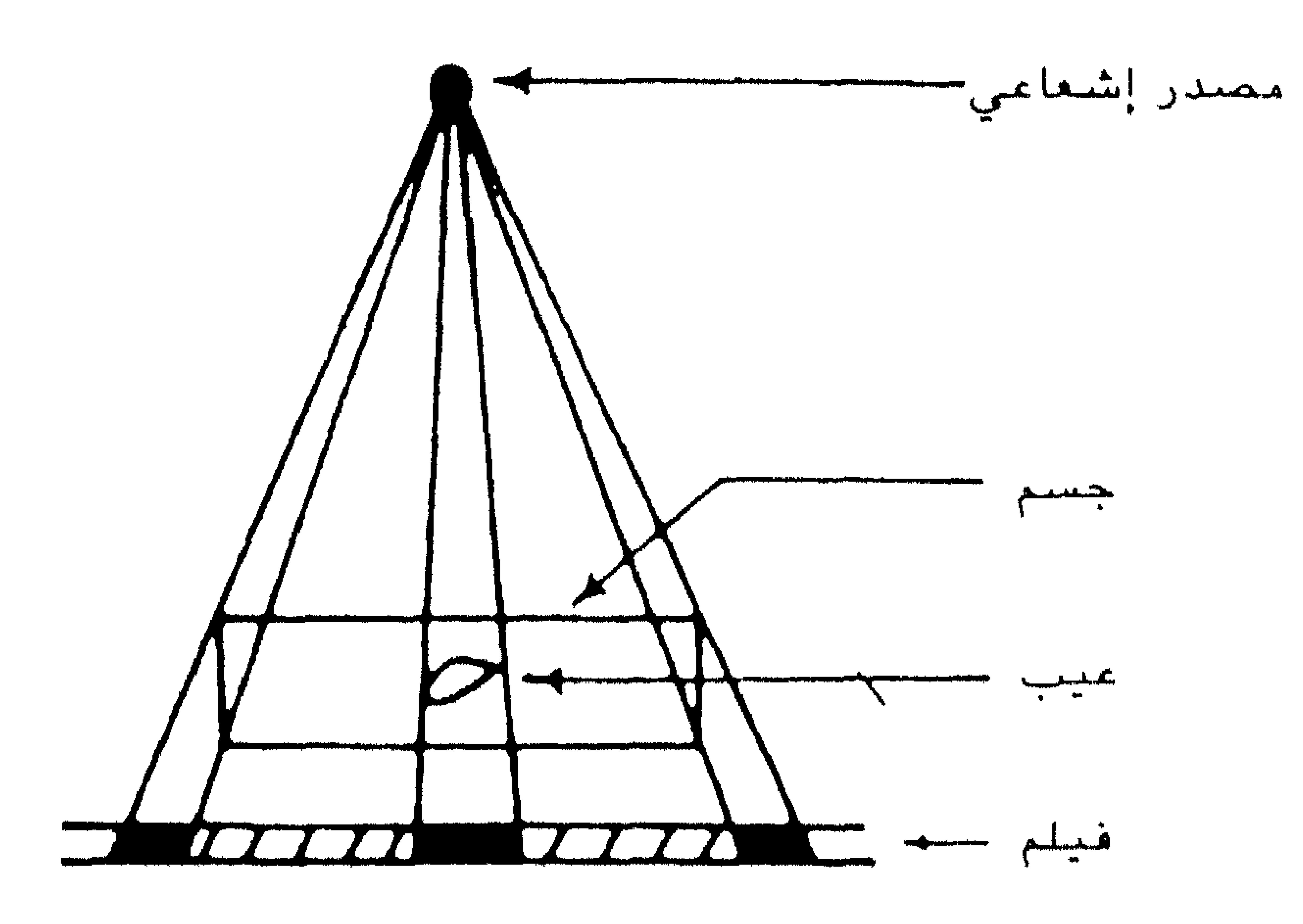
من حاوية مصنوعة من عناصر ذات كثافة عالية كالرصاص أو التنجستن تستعمل كدرع واقي للإشعاع، ويتكون الغلاف الخارجي عادة من الفولاذ لوقاية الحاوية من الصدمات الخارجية.

وفي حالة عدم استعمال الجهاز يكون موقع المصدر في مركز الحاوية، وتتم السيطرة على نقل المصدر بواسطة سلك فولاذي تتصل إحدى نهايتيه بالمصدر داخل الحاوية والنهاية الأخرى بعتلة دائرية الحركة بوسيلة ميكانيكية أو كهربائية أو هوائية يتم تحريكها من مسافات بعيدة عن المصدر لتأمين سلامة العاملين. وأهم المصادر المستعملة في التصوير الإشعاعي هي الاريدديوم - 192 والكوبالت - 60 والسيزيوم - 137. أما بالنسبة لأفلام التصوير الإشعاعي المستخدمة، فأن فيلم التصوير الإشعاعي يتكون عادة من مادة بلاستيكية يغطى أحد وجهيها أو كلاهما بطبقة جلاتينية متجانسة تحتوي على حبيبات متناهية الصغر لمركبات الفضة وبصفة أساسية من بروميد الفضة.

ويعتمد مقدار اسوداد الفيلم بصورة رئيسية على كمية الإشعاع المار بالفيلم وعلى المحلول المظهر المستعمل في غسل الفيلم والطريقة المتبعة فيه. وهناك عدة أنواع من الأفلام يتم إستخدامها حيث أن اختيار الفيلم المناسب لحالة معينة يعتمد على عدة عوامل منها نوعية الصورة المطلوبة وسرعة التصوير. وتستعمل الأفلام السريعة جداً (High Speed Films) لتصوير مقاطع سميكة وذلك لتقليل مدة التصوير ولدراسة العيوب الصغيرة في العينات المراد دراستها، ويفضل استعمال الأفلام ذات الحبيبات الدقيقة (Fine Grain Films) لإمكانية الحصول على صور أفضل وتفاصيل أدق. ويتناول هذا المقال استعمالات أشعة كاما في التصوير الإشعاعي ومجالاتها وطرق تطبيقها وفوائدها.

16.4 مبدأ التصوير الإشعاعي

يمكن تعريف التصوير الإشعاعي بأنه فحص بطريقة غير إتلافية يستعمل في الإشعاع النفاذ للكشف عن تراكيب الأجسام غير المرئية والتي يمكن مشاهدتها على فيلم موضوع على الجانب الآخر من الجسم بعد إظهار الصورة وتثبيتها. يقوم التصوير الإشعاعي أساساً على قانون امتصاص الأجسام للإشعاع فالإشعاع النافذ ينتقل خلال الجسم المراد فحصه بدرجات متفاوتة في الشدة طبقاً لسمك وكثافة الجسم المصور، وأثناء مرور الإشعاع بالفيلم ينتج تغيير في مستحلب الفيلم (Film Emulsion). وعند إظهار الفيلم كيميائياً فأن المساحات المعرضة للإشعاع تظهر معتمة سوداء وشدة هذا الاسوداد تعتمد بصورة رئيسية على شدة التعرض للإشعاع، وتسمى الصورة الناتجة بهذه الطريقة بالصورة الشعاعية (Radiograph). ويبين شكل (3) كيفية الحصول على صورة شعاعية، وفيها مصدر الإشعاع عبارة عن كبسولة حافظة للنظير المشع مثل الكوبالت - 60 أو الاريديوم - 192. وينتشر الإشعاع المنبعث من المصدر في خطوط مستقيمة في جميع الاتجاهات وعند مروره خلال الجسم المراد فحصه يحدث انخفاض في شدته نظراً لامتصاص بعضه في الجسم أو تشتته عنه. وفي حالة وجود تجاويف داخلية في الجسم أو اختلافات في كثافته، فأن شدة الإشعاع النافذ من هذه المناطق تكون أكثر من بقية أجزاء الجسم المحيطة به وبذلك تظهر هذه المناطق في الصورة الشعاعية كمناطق أكثر سواداً. لذا يمكن اعتبار الصورة الشعاعية صورة تفصيلية لجسم ما حيث تبين المناطق الأكثر سماحاً لنفاذ الإشعاع والمناطق الفاتحة اللون الأجزاء الأكثر كثافة أو سمكاً.



شكل (3): الأسس في التصوير الإشعاعي

ومن أجل الحصول على صورة شعاعية حقيقية واضحة يجب أن تتوفر الشروط التالية:

1 - حجم النظير المشع صغيراً جداً بقدر الإمكان.

2 - المسافة بين المصدر والجسم أبعد ما يمكن.

3 - الفيلم ملاصق للجسم بقدر الإمكان.

4 - سطحي الجسم والفيلم متوازيين.

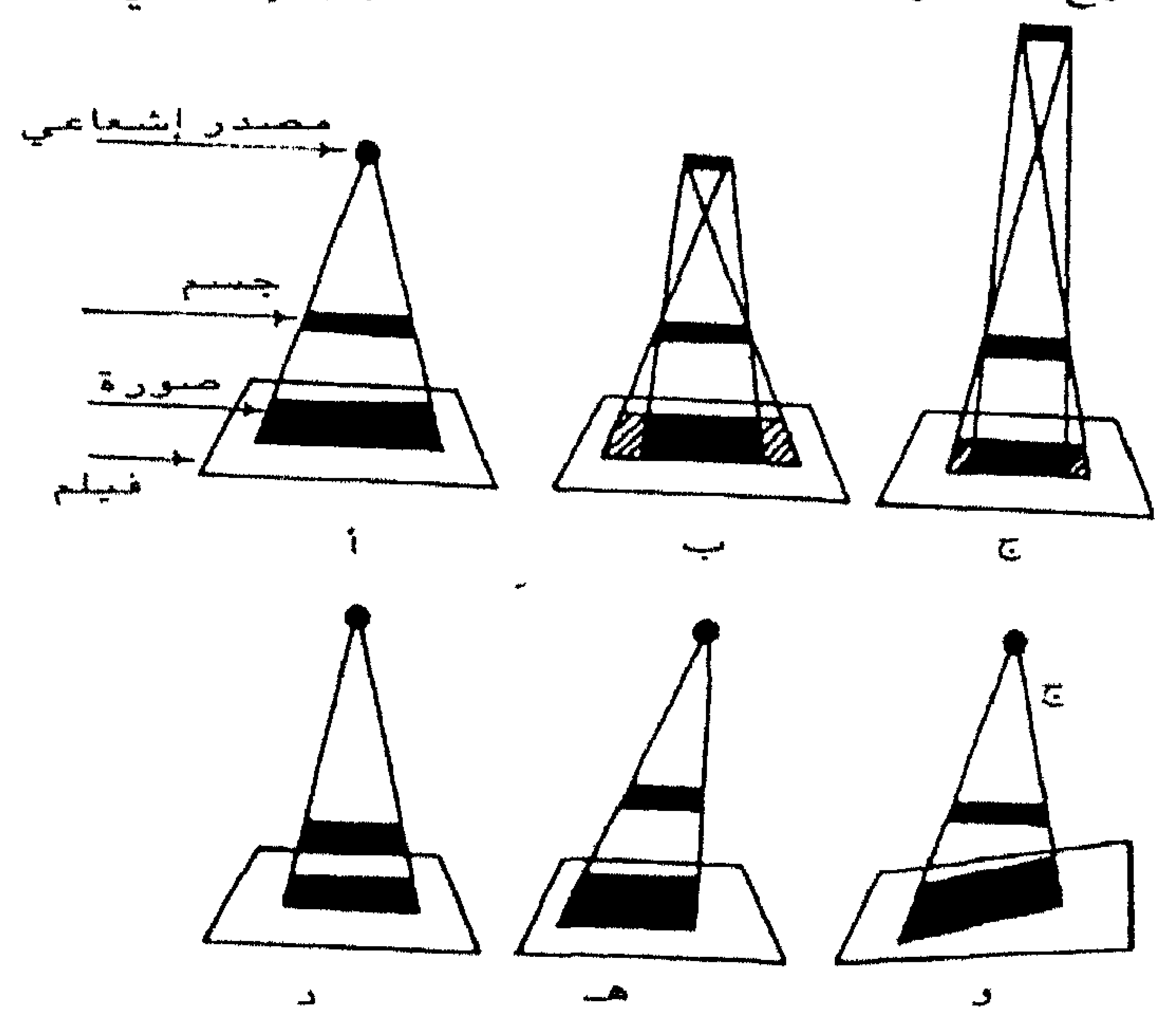
5 - الأشعة موجهة عمودياً على الجسم وفي مركزه.

6 - إبعاد الأجسام القادرة على تشتيت الإشعاع (Scattering Objects) عن منطقة التصوير.

ويوضح شكل (4)العوامل المؤثرة في تكوين الصورة الشعاعية. الملاحظ في الشكل (أ) أن المصدر صغير جداً بينما كان في الشكل (ب) كبير نسبياً مما سبب تشويهاً في الصورة الثانية، وفي الشكل (ج) يمكن ملاحظة قلة تشويه

الصورة لكبر المسافة بين المصدر والجسم. أما في الشكلين (د)، (هـ) فيمكن ملاحظة التشابه الكبير بين أبعاد الصورة وأبعاد الجسم عندما يكون الجسم ملاصقاً للفلم والمصدر في مركز الجسم والفيلم، ويلاحظ أيضاً التشويه الحاصل في جزء من الصورة عندما ينحرف المصدر عن مركز الجسم والفيلم. وأخيراً يبين الشكل (و) الصورة مشوهة عندما يكون الجسم والفيلم غير متوازيين حيث ينعدم التناسب بين أبعاد الجسم وأبعاد الصورة.

بعد الانتهاء من تثبيت هذه العوامل واختيار الفيلم المناسب تأتي المرحلة الأخرى وهي حساب مدة التصوير (مدة التعرض) حسب نوع الفيلم والمصدر المتوفر والمناسب لعملية الفحص. وتستعمل جداول خاصة للتعرض (Exposure Charts) في أغلب الأحيان لحساب مدة التصوير لفيلم ومصدر معينين، وهناك حاسبات لمدة التصوير تستعمل حالياً بكثرة نظراً لصغر حجمها وسهولة استعمالها لأنواع المصادر الشائعة الاستعمال في التصوير الإشعاعي.

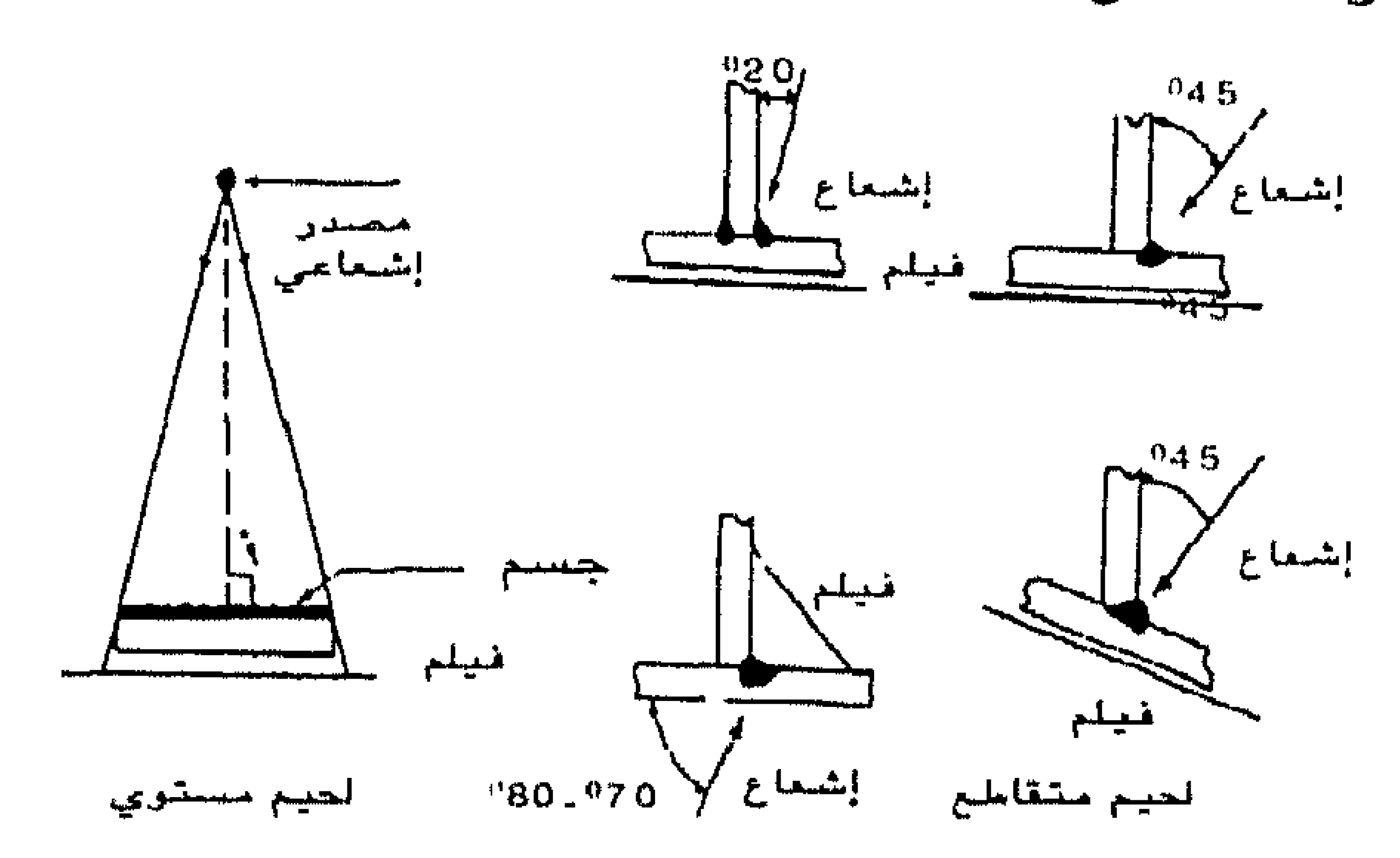


شكل (4): العوامل المؤثرة في تكوين الصور الشعاعية

17.4 مجالات وتطبيقات التصوير الإشعاعي

1 - **فحص اللحام** (Welding Inspection) .

يعتبر هذا الفحص من أهم تطبيقات التصوير الإشعاعي وذلك لأنه يكشف طريقة غير إتلافية عن الأخطاء والعيوب الموجودة في اللحام، لذا يستعمل بكثرة في فحص المواد أثناء مراحل الإنتاج والتطوير. ويبين الشكل (5) بعض الطرق المستخدمة في فحص أنواع اللحام بالتصوير الإشعاعي. وتكون العيوب في اللحام أما فجوات غازية وأما مواد شائبة ذات كثافة أقل من مادة اللحام والمحيطة بها، ولهذا السبب تظهر هذه العيوب في الصورة الشعاعية كمناطق أكثر اسوداداً مختلفة الأحجام والأشكال.



شكل (5): بعض الطرق في فحص اللحام بالتصوير الإشعاعي

ويمكن تصنيف العيوب في اللحام إلى:

a) شروخ (Cracks) وتظهر في الصورة كخطوط متعرجة.

b) توغل غير كامل (Incomplete Penetration) لمادة اللحام ويظهر كخط مستقيم في وسط اللحام على امتداده.

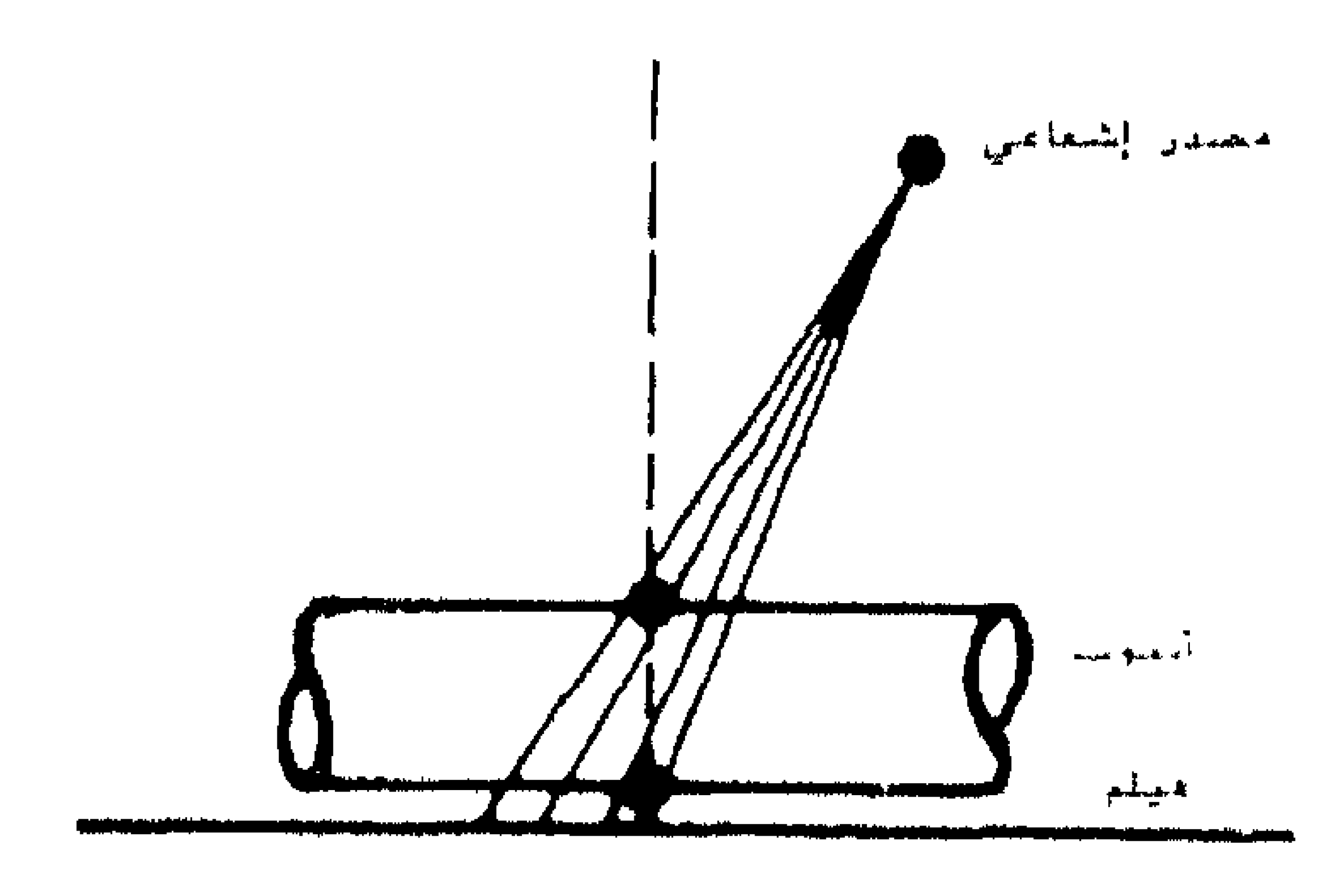
c) قلة اندماج (Lack of fusion) بين اللحام والجسم ويظهر في الصورة كخط متعرج.

d) مسامات (Porosities) وتظهر في الصور كنقاط دائرية ذات حافات واضحة.

e) حز واطئ (Undercut) ويظهر في الصورة بموازاة وعلى حافة اللحام.

f) عيوب سطحية وعدم انتظام (Surface Defects and Irregularities) وتظهر بأشكال مختلفة.

ومن أهم التطبيقات في هذا المجال فحص لحام الأنابيب عند مد أنابيب جديدة يتحتم لحام نهاياتها بعضها ببعض وللتأكد من وجود اللحام تؤخذ صورة شعاعية لكل لحام ويصلح أي خطأ يعثر عليه قبل نقل أجهزة اللحام مسافات بعيدة وتكون الطريقة المتبعة في التصوير هي تثبيت مصدر لأشعة كاما على عربة صغيرة دفع داخل الإنبوب إلى أن يكون المصدر نفس مقطع اللحام وتتم السيطرة على حركة العربة عادة من الخارج بواسطة أجهزة لاسلكية ثم يغطى اللحام بفيلم مغلف تغليفاً جيداً ضد الضوء وبعد ذلك يتم إخراج المصدر من حاويته وتؤخذ صورة كاملة للحام على الفيلم، وتسمى هذه الطريقة بالتقنية المركزية (Central Technique) وعندما يتعذر إدخال المصدر داخل الإنبوب يوضع خارجاً ومنحرفاً قليلاً عن مقطع اللحام ثم تؤخذ الصورة، وتسمى هذه الطريقة بتقنية الجدارين (Double-Wall Technique) وهي موضحة في شكل (6).

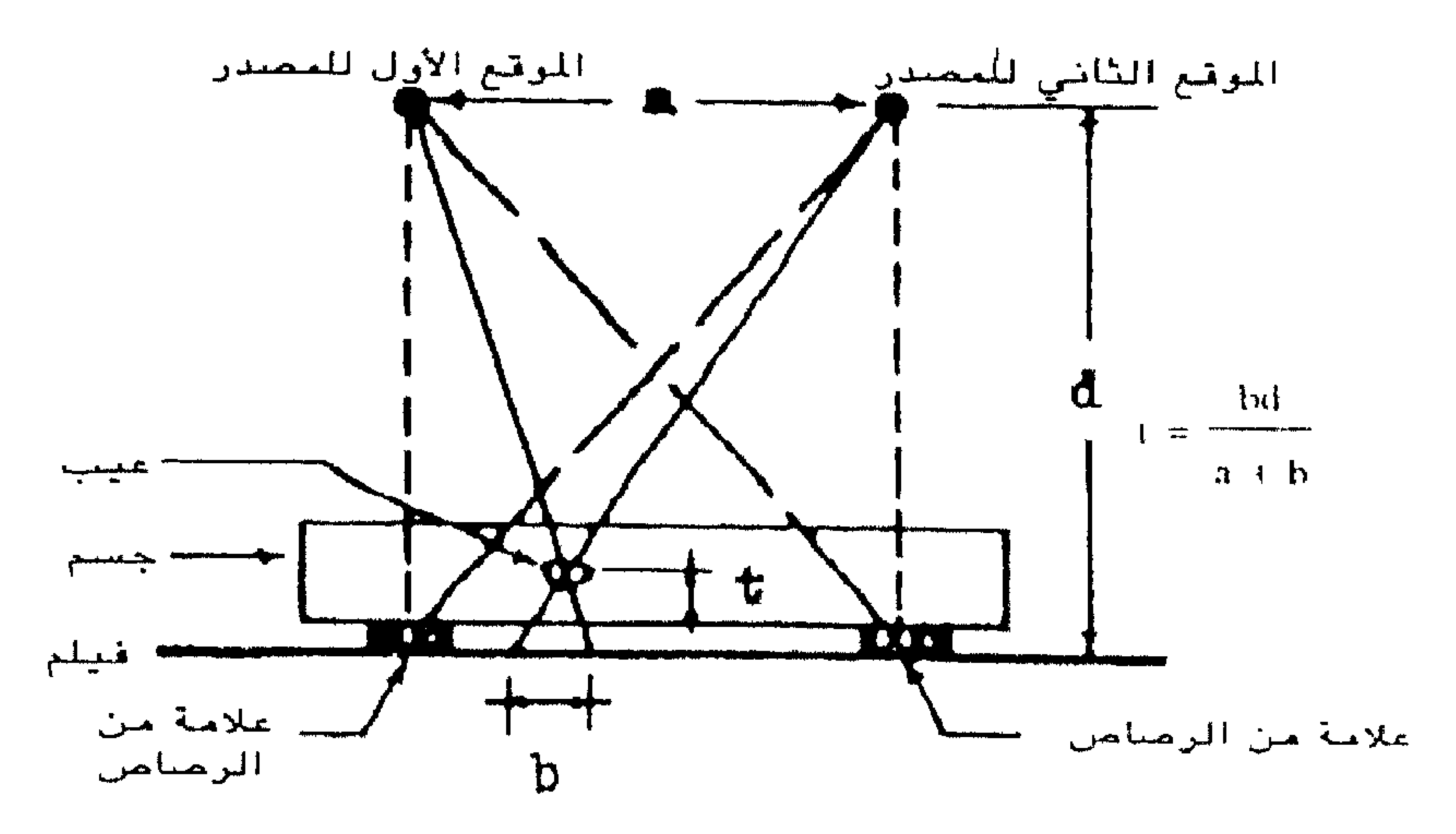


شكل (6): تقنية الجدارين

2 - **فحص المسبوكات** (Casting Inspection).

يأتي فحص المسبوكات بالتصوير الإشعاعي في الدرجة الثانية من الأهمية بعد فحص اللحام، ويستعمل لكشف العيوب الداخلية فيها والتي تشبه إلى حد ما عيوب اللحام. وبالإمكان فحص المسبوكات لجميع الفلزات الشائعة ويتضمن ذلك الحديد، الصلب والفولاذ والألمنيوم والنحاس ومهما كانت أشكال وأحجام المسبوكات. إن السيطرة على نوعية المسبوكات بواسطة التصوير الإشعاعي تؤدي إلى الاستغناء عن المسبوكات التي يمكن أن تؤدي إلى إتلاف الآلة المصنوعة منها أثناء الاستعمال، فالمسبوكات المرفوضة يمكن فحصها وتلافيها قبل إجراء عمليات الخراطة المختلفة عليها والتي غالباً ما تكلف مبالغ باهظة ووقتاً مضاعفاً. هناك طرق متعددة لتعيين موقع أو عمق العيب في المسبوكات أهمها الطريقة المعروفة بتقنية التصوير المزدوج (Double Exposure) وتقنية التصوير الإشعاعي المجسم (Stereoradiography).

ففي الطريقة الأولى تؤخذ صورة للجسم لفترة تصل إلى نصف مدة التصوير ثم ينقل المصدر المشع إلى موقع ثان على مسافة قصيرة بموازاة الجسم تؤخذ صورة ثانية للزمن المتبقي على نفس الفيلم، ويحسب عمق العيب من المعادلة الهندسية المبينة في شكل (7) والذي يوضح تقنية التصوير المزدوج. أما في الطريقة الثانية فتؤخذ صورتان أيضاً ولكن باستعمال فيلمين ويكون نقل المصدر في هذه الحالة بين 8 – 10 سم وهي المسافة التقريبية بين العينين، وينظر للصورة المأخوذة بجهاز تجسيم الصورة (Stereoscope) الذي يجسم العيوب لتقدير أبعادها وأعماقها.



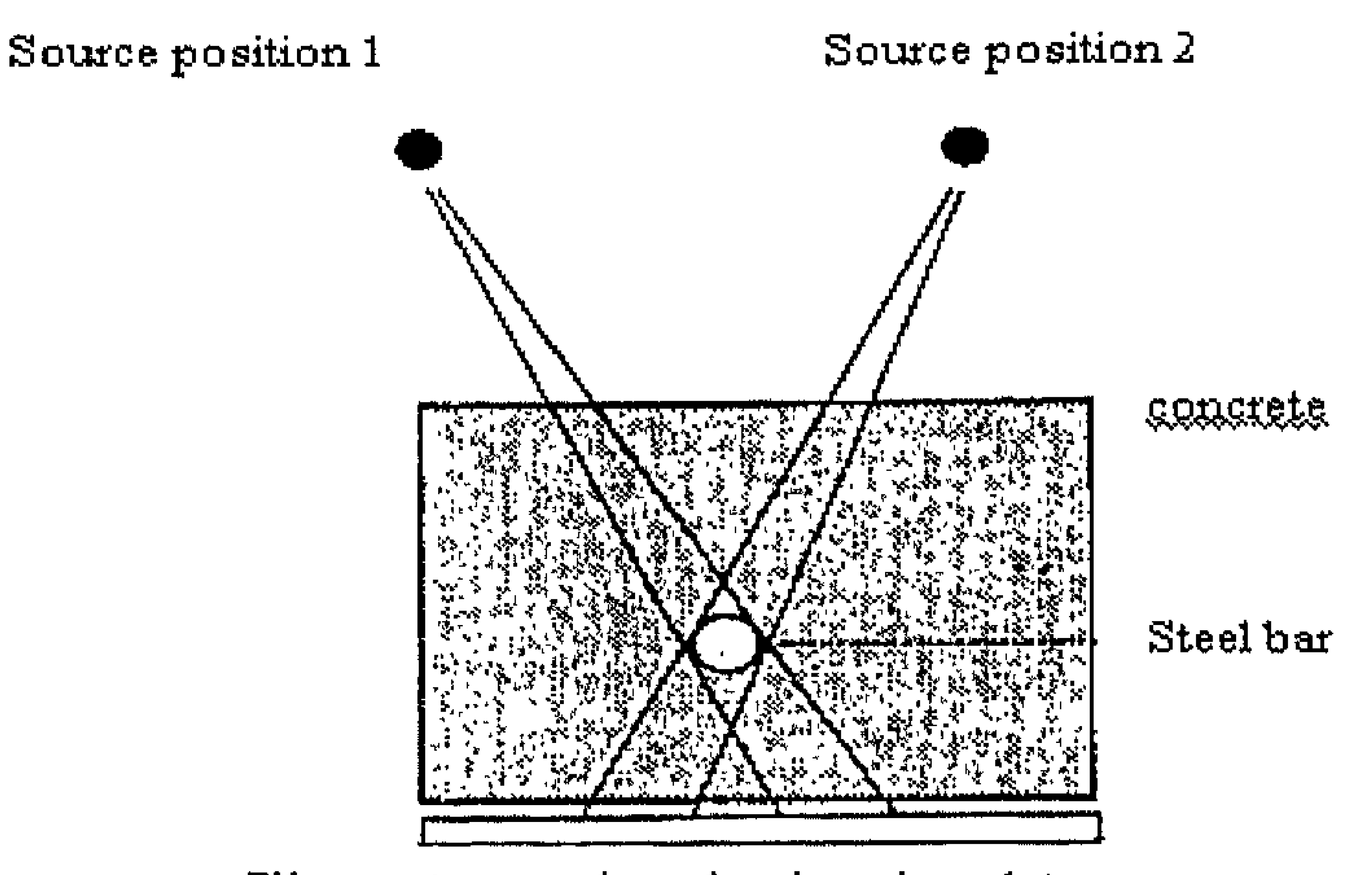
شكل (7): تقنية التصوير المزدوج

3 - **فحص الكونكريت المسلح** (Concrete Reinforcement Checking) .

من المجالات الأخرى للتصوير الإشعاعي هي فحوصات مواد البناء ففي الإمكان تعيين موقع وطريقة تركيب واستمرارية القضبان الحديدية في الخرسانة (إنظر شكل (8)). ويساعد التصوير الإشعاعي أيضاً على فحص المنشآت الكونكيتية وذلك بإظهار العيوب المختلفة فيها كالفجوات الهوائية والمواد الغريبة والشقوق.

4 - **فحص التراكيب الداخلية** (Internal Geometry Inspection) .

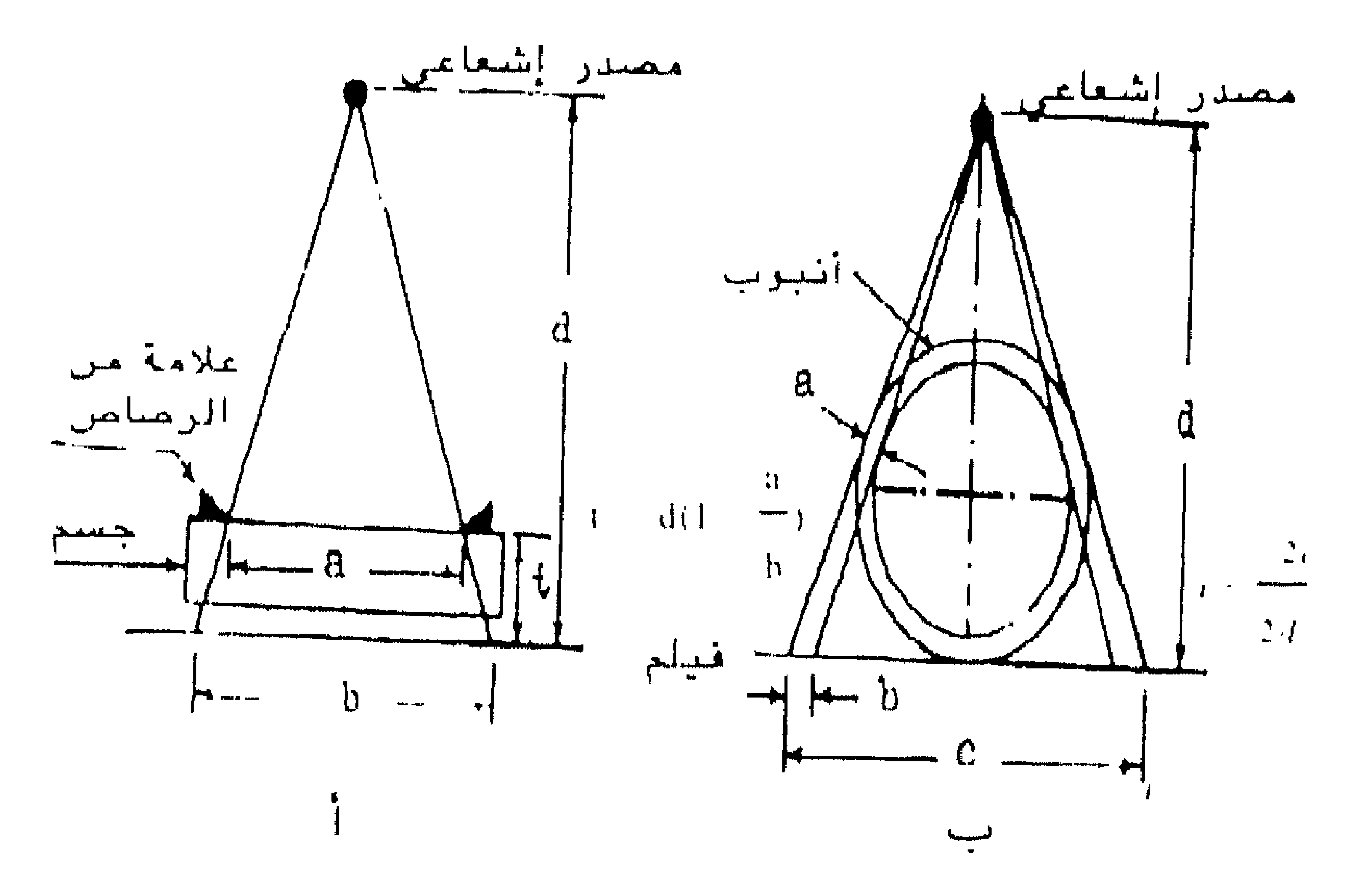
يستعمل التصوير الإشعاعي لإظهار التركيب الداخلي للأجهزة المختلفة. ففي الحالات التي لا يمكن فيه التوصل إلى داخل الجهاز أو كانت هناك تجزئة في الأجزاء المختلفة تؤخذ صورة شعاعية للجهاز من مختلف الاتجاهات لإظهار الأخطاء فيها إن وجدت، مثال ذلك قطع في أحد الأسلاك أو اختلاف في مواقع الأجزاء.



شكل (8): فحص الكونكريت المسلح

5 - **قياس السمك** (Thickness Measurement) .

يستعمل التصوير الإشعاعي لقياس سمك الصفائح والقطع المعدنية وكذلك سمك جدران الأنابيب بصورة تقريبية في الحالات التي لا يتيسر فيها القياس بالطرق الاعتيادية. فعند قياس سمك جسم مسطح توضع علامتان من الرصاص فوق السطح المواجه للمصدر الإشعاعي قريبتان من حافتي الجسم كما موضع في شكل (9 أ)، ثم تؤخذ صورة شعاعية للجسم ويحسب السمك باستعمال معادلة هندسية تعتمد على تشابه المثلثات. أما في حالة قياس سمك جدار إنبوب ما فيوضع المصدر على مسافة مناسبة من الإنبوب وتؤخذ صورة شعاعية، ويحسب السمك من المعادلة المبينة في الشكل (9 ب). ويمكن تقدير السمك باستعمال قطع قياسية للجسم أو الإنبوب بعد أخذ صور شعاعية ومقارنتها مع بعضها باستعمال جهاز لقياس كثافة اللون الأسود والذي يعرف بمقياس الكثافة البصرية (Densitometer).



شكل (9): طرق قياس السمك

18.4 التطبيقات الصناعية

1 - الإستخدامات الضوئية والفوتوغرافية.

من التطبيقات المعروفة جداً هي إنتاج التركيبات المضيئة ذاتياً خصوصاً أرقام الإشارات المضيئة والعلامات، فبخلط المادة المشعة مع كبريتيد الخارصين فأن الإشعاعات المنبعثة من المادة المشعة يمكنها أن تحفز عملية التألق في المواد القابلة للتألق مثل كبريتيد الزنك، وكذلك لها خاصية في قابليتها على جعل الأفلام الفوتوغرافية قابلة للتحميض والإظهار. عند وضع جسم ما بين مصدر كاما وفلم فوتوغرافي فأنه سيترك ظلاً بشكل الجسم لأنه يمتص بعض من الإشعاع. وعند تحميض الفلم سيظهر صورة لظل الجسم أو ما يدعى بالصورة الشعاعية والصورة من حيث المظهر تشابه صورة أشعة أكس الاعتيادية. إن الصورة الشعاعية تستخدم بكثرة في كشف الخلل أو التصدع من طرق التصنيع كعمل السبائك والحدادة واللحام والأجهزة المصنعة. كذلك تستخدم لفحص التراكيب الكبيرة كدعامات الجسور. ففي حالات كثيرة تتمتع المصادر المشعة

عن أجهزة أشعة أكس بمزايا وفوائد عديدة، حيث يمكن تحريكها ونقلها بسهولة ويمكن دفعها في اسطوانات صغيرة، ويمكن في الواقع إظهار الصورة الشعاعية بإستخدام المواد المشعة ولغاية 15 cm من الحديد.

2 - الإستخدامات في العوازل الجيدة وقياس السمك.

في كثير من العمليات الصناعية يحدث أحياناً أن تصبح بعص المواد العازلة موصلة للكهربائية بسبب مرورها فوق بعض البكرات المحورية أو نتيجة للاحتكاك ببعض الأجزاء وهذا قد يسبب في توليد بعض الصدمات الكهربائية أو يولد شرارات والتي قد تشتمل مواد قابلة للاشتعال أو قد تتصاعد عنها أبخرة في الهواء وأحيانا قد يكون للكهربائية المستقرة تأثير من عمل تشققات في المواد المعزولة والتي تتلف أو تلصق بالبكرات، مثل هذه الصعوبات تعالج اعتيادياً بإستخدام الإشعاع، في المواد البلاستيكية العازلة مما يزيد في مقدار العزل وكذلك في قابلية التحمل للجهد أو الاحتكاك.

تستخدم في الصناعة كذلك مقاييس السمك المشعة وخصوصاً في القياس والسيطرة الاوتوماتيكية على سمك المواد كالبلاستك واللدائن والورق والرقائق المعدنية عندما تمر هذه المواد في مكائن الإنتاج، أن مقاييس السمك تعمل بالاعتماد على مرور جسيمات بيتا خلال المواد حيث تبطأ المواد ومن ثم تحسب أعداد الجسيمات في المادة من السمك المحدد فالعدد المسجل من جسيمات بيتا يعني قياس سمك المادة، أن إستخدام مقاييس السمك يوفر عدم خسارة المواد وتحسين دقة الإنتاج عند إستخدام نظائر مشعة تبعث أشعة كما فأنه يمكن بواسطتها قياس لوح حديدي ذا سمك يتراوح من 6 cm إلى 8 cm حيث يمكن كذلك السيطرة على إنتاجه اوتوماتيكياً تساعد في ذلك قوة اختراق أشعة كاما والتي تزيد على قوة اختراق جسيمات بيتا.

مثال هذه الطرق يمكن إستخدامها لقياس ارتفاد السوائل مباشرة أو سمك الأفلام البلاستيكية المحفوظة داخل الأفلام كذلك سمك المواد المغلفة لمادة

أخرى، باختيار قياس للنظير المشع يمكن قياس مدى واسع السمك من الأفلام الرقيقة يتراوح بأقل من واحد بالألف من السنتمتر إلى صفيحة معدنية ذات سمك عدة سنتمترات. هنالك عدة أنواع من المقاييس الاشعاعية بحيث تكون صغير إلى حد الذي يمكن إدخالها إلى أسفل اسطوانة ضيقة ذات فتحة في النهاية لقياس كثافة الطبقات تحت الأرض وهذه لها فوائد في اكتشاف طبقات الفحم الحجري تحت الأرض. كما ويستخدم جهاز مشابه لفحص متانة الأسس تحت مدارج الطائرات. مكائن القطع الأوتوماتيكية غالباً ما تحمل مقابيي مع الرؤوس القاطعة للماكنة هذه تقوم بتوجيه هذه الرؤوس لغرض الاختبار الدقيق للمنطقة الواطئة من طبقة الفحم ومنعها من القطع العشوائي غير المفيد في الصخور. إستخدامات أقل تعقيداً للنظائر المشعة تتضح في الأمثلة التالية لغرض كشف ومعرفة العلب الفارغة أو المملوءة جزئياً في مختلف معامل الإنتاج، فبعد أن تخرج العلبة من ماكنة تعبئة أو خل الحركة على حزام النقل .

3 - المتقفيات الإشعاعية وإستخداماتها .

المتقفيات عبارة عن نماذج من المادة المعرضة للإشعاع ويمكن تقفي أثرها خلال عمليات معينة بواسطة أجهزة الكشف المناسبة، للمتقفيات إستخدامات مفيدة في الصناعات الكيميائية حيث تستخدم في تسريع التحليلات ودون الحاجة لإستخدام الفصل الكيميائي الصعب. فكميات قليلة من الشوائب يمكن أن تقاس بإستخدام النماذج داخل المفاعل حيث تعرض النماذج والشوائب للإشعاع، وعند إخراجها من المفاعل فأن الشوائب ستبعث بالإشعاع المميز لها. وهذا يساعد في معرفة الكمية الموجودة لكي تحدد وتقاس. ولأغلب العناصر يمكن تقدير الكميات التي تقل عن 1\500 من الغرام لهذه الطريقة. يمكن إستخدام المتقفيات افشعاعية لكشف وتعيين مناطق التسرب في الأنابيب المنشآت، فالإيجاد تسرب كبير داخل الأنابيب توضع المتقفية داخل كرة من المطاط يمكن دحرجتها داخل الإنبوب ينقلها تيار السائل إلى غاية الخرق الموجود

في جسم الإنبوب، حيث ستقف ويمكن معرفة التسرب عن طريق تحريك جهاز كاشف فوق الإنبوب. في حالة الانخراقات والشقوق التي تحدث في الأنابيب المدفونة فيمكن معرفتها حتى من خلال كميات من التراب أو الطابوق أو الكونكريت الذي فوقها.

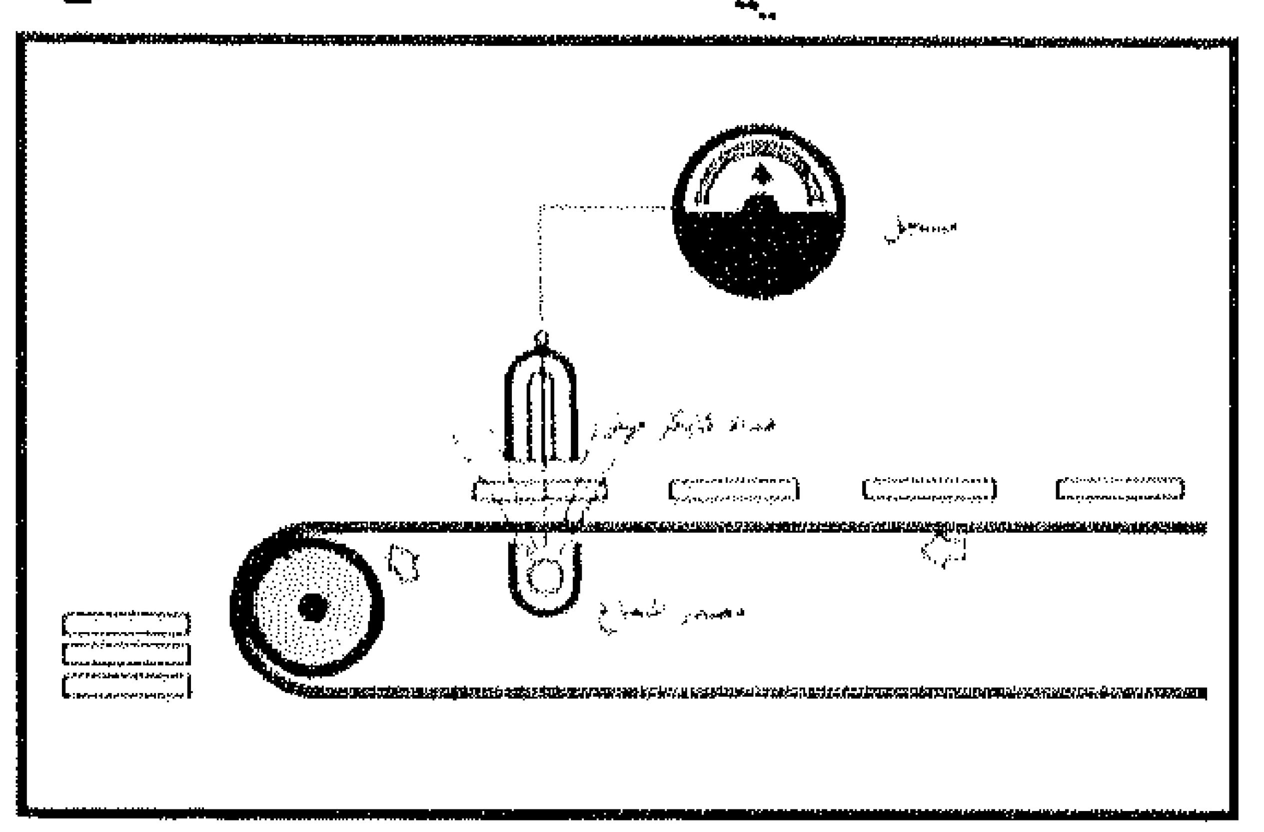
لإيجاد التشققات الصغيرة والثقوب ترسل كمية مناسبة من سائل متقفي مشع داخل الإنبوب مع التيار وعند وصولها إلى الشق أو الفتحة فأن قسماً من السائل المشع سيخرج وسيتبدد خارج الإنبوب، ويمكن كشف ذلك عن طريق سحب جهاز الكاشف فوق منطقة الإنبوب وسيعطى التأثير عن موقع الإشعاع وكذلك مكان التسرب . و في صناعة السيارات تستخدم المتقفيات الإشعاعية لقياس معدل تآكل أجزاء الماكنة تحت ظروف مختلفة من التشغيل والعمل. فعلى سبيل المثال، يوضح مكبس معرض للإشعاع في الماكنة المخصصة للفحص وبعد التشغيل فأنه يمكن معرفة أي حطام صغير من جسم المكبس قد يتآكل نتيجة التشغيل حيث يمكن كشف ذلك من على سطح اسطوانة المكبس أو من حوض الزيت كما وأن خواص زيوت الماكنة يمكن فحصها بنفس الطريقة أيضاً.

19.4 إستخدام النظائر المشعة في القياسات الصناعية

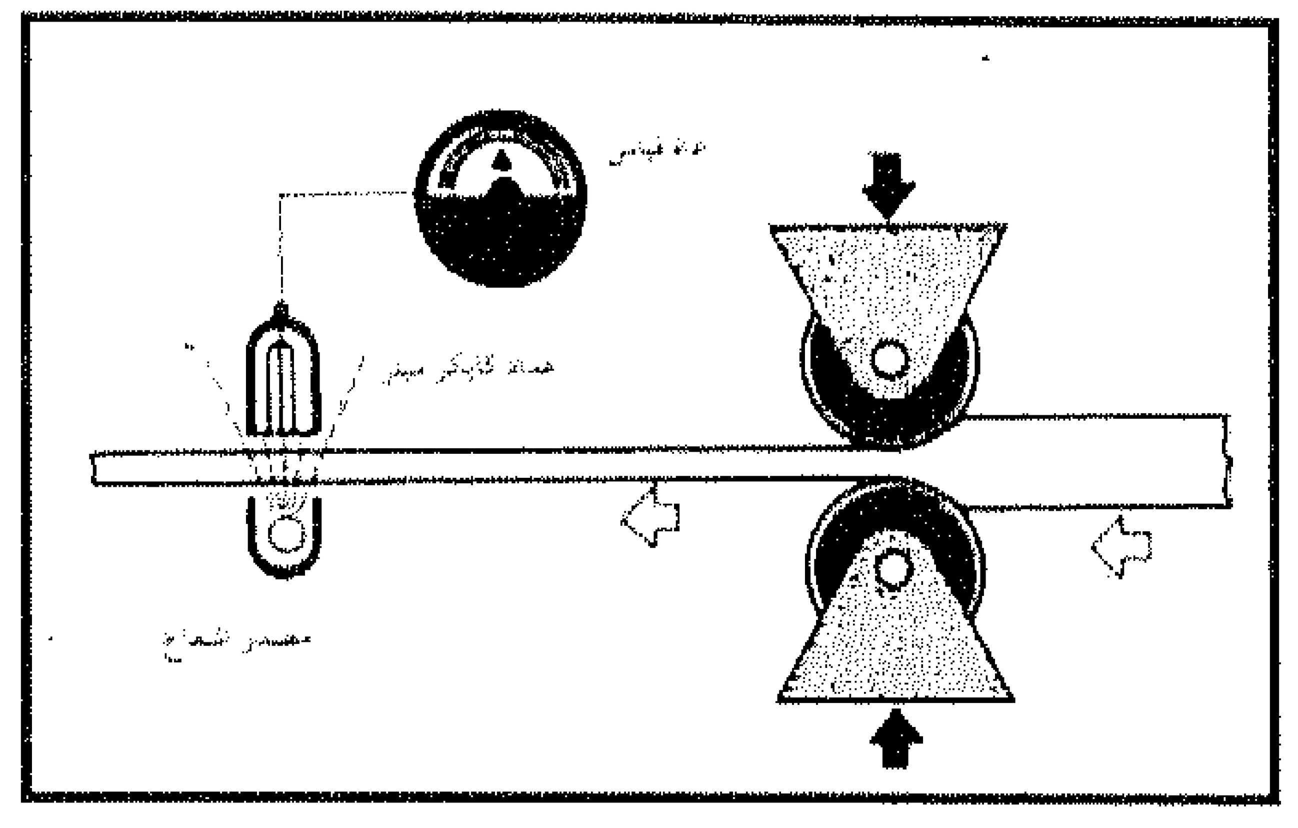
تستخدم النظائر المشعة بصورة واسعة في الصناعة لتحليل ميكانيكية العمليات الفيزيائية والكيميائية والتكنولوجية في إنتاج الفولاذ والفحم والنفط ومشتقاته والإسمنت والمنتجات الكيميائية وتآكل المواد والسيطرة على النوعية وأبعاد مكونات المنتجات ...الخ. توضح المخططات في الصفحة المقابلة أمثلة قليلة فقط حول الإستخدامات العملية للنظائر المشعة كقياس السمك وتعداد المنتجات الصلبة على حزام ناقل وقياس سرع السوائل ومستواها في الحاويات.

تتبع الطريقة التالية للحصول على معلومات هامة في الإنتاج الميكانيكي حول الأضرار الميكانيكية الناتجة من التآكل التلف والتآكل الكيميائي

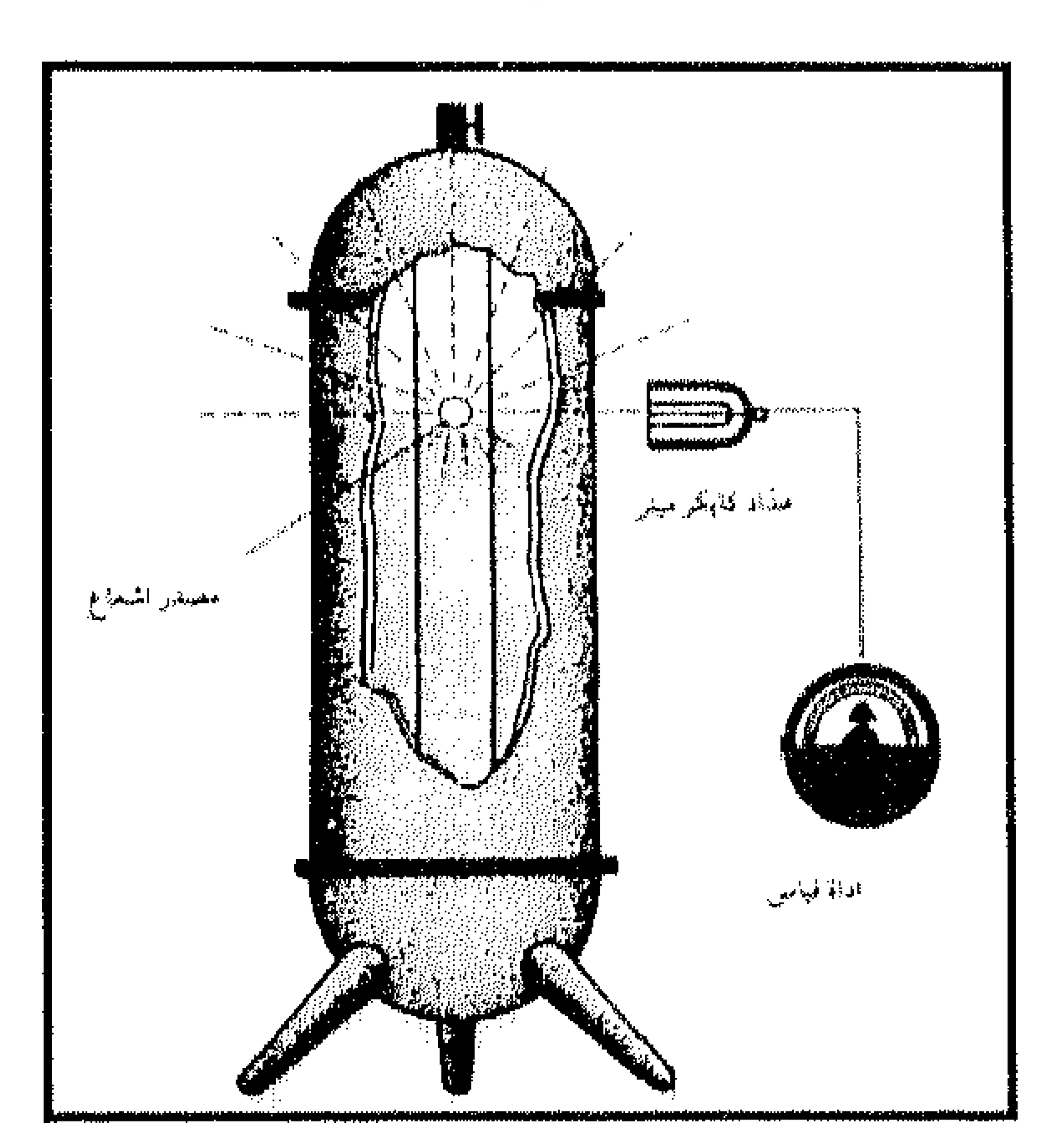
لأجزاء هامة من المكائن. تعلم القطعة التي يراد السيطرة عليها أو فحصها بنظير مشع بعد تشحيمها بكمية وفيرة من الدهون ثم تترك للعمل في المنظومة الميكانيكية. أن الدهون التي تتساقط في إناء منفصل يحوي دقائق من القطعة المراد فحصها ويوجد النظير المشع في هذه الدقائق. يمكن حساب الأضرار الميكانيكية الناتجة من التآكل والتلف اعتماداً على مقدار النشاط الإشعاعي لهذه الدهون. وبإستخدام هذه المنظومة يمكن إجراء السيطرة أي فحص مكائن الاحتراق الداخلي واحتكاك السطوح وملوك دهون التشحيم.



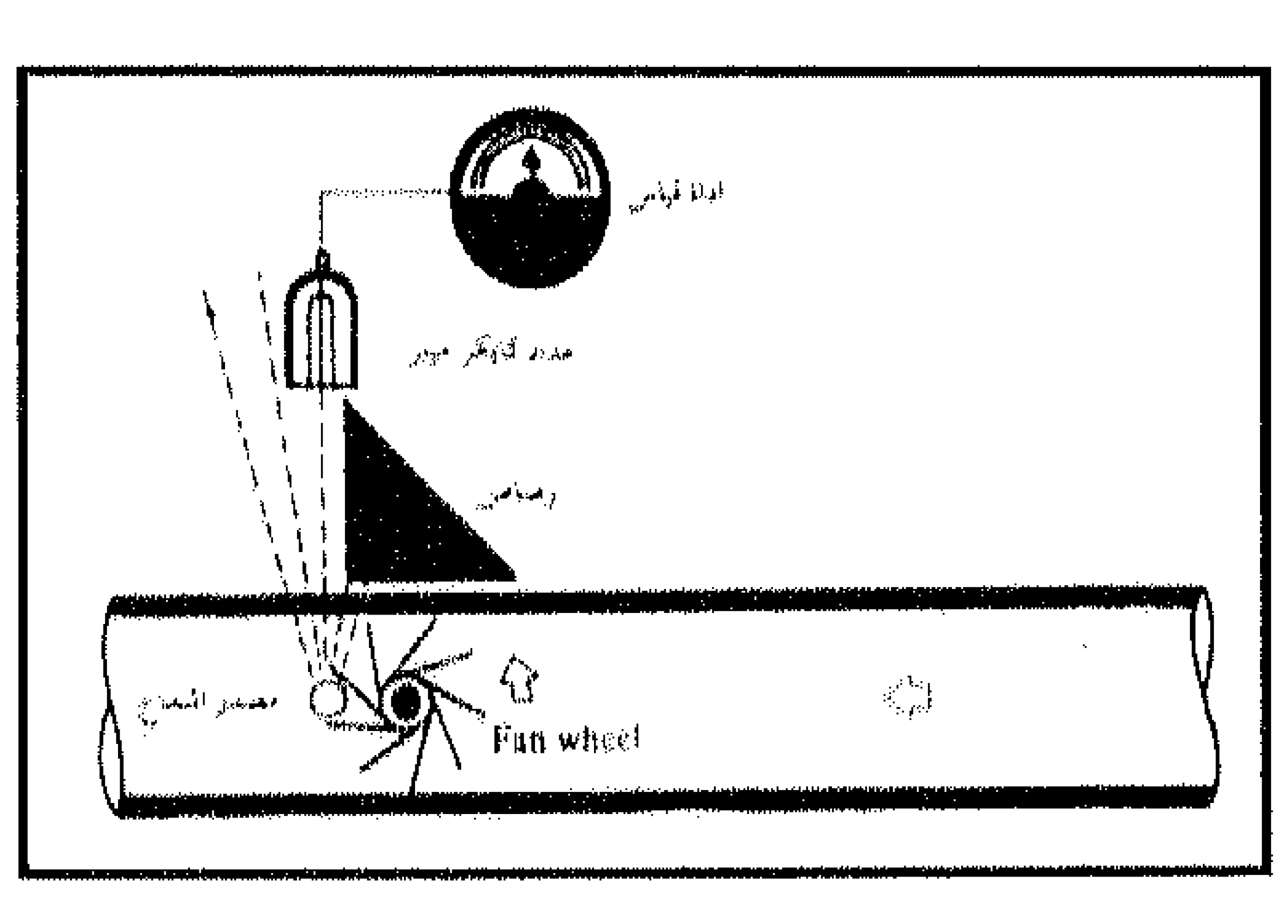
حساب عدد القطع الإنتاجية على حزام ناقل



قياس سمك الحزام الناقل



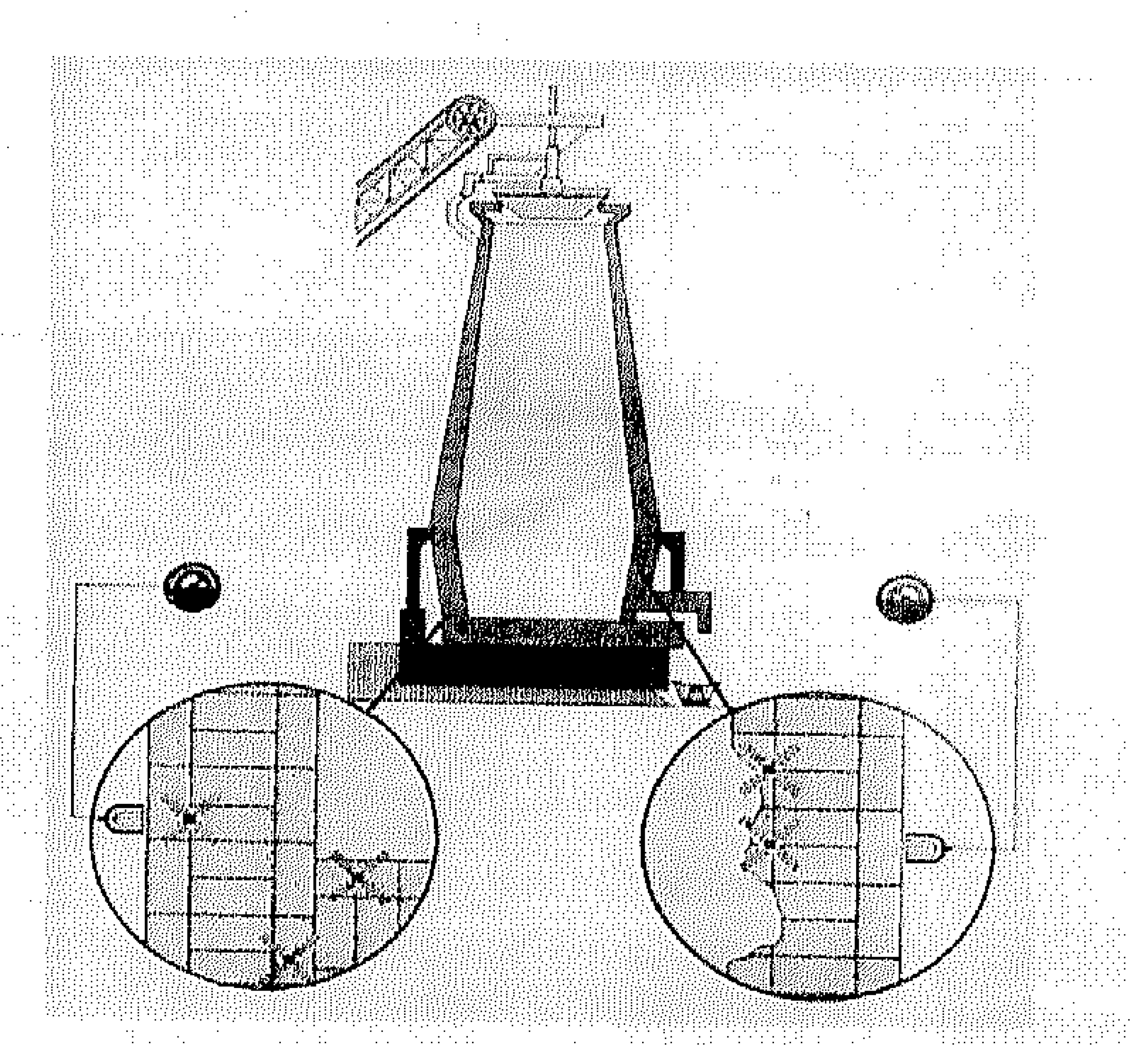
قياس مستوى سائل في حاوية



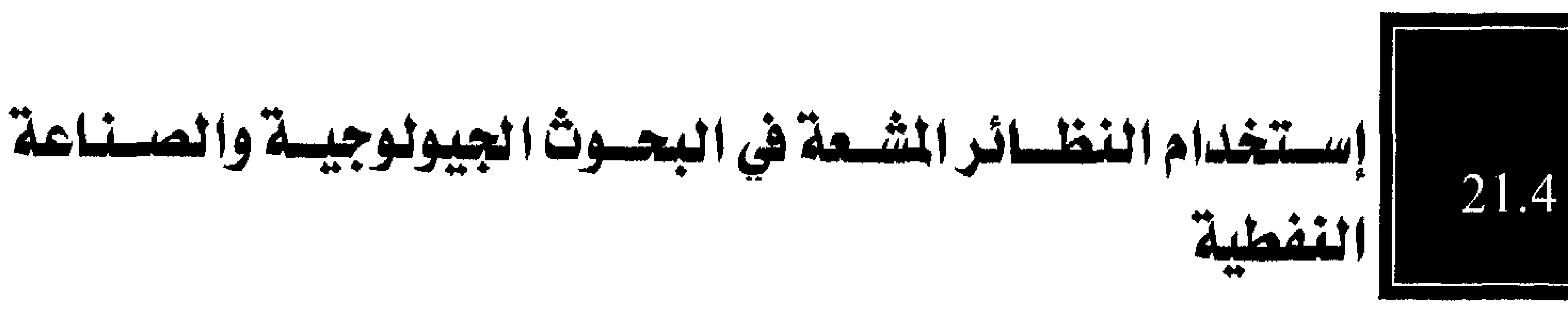
قياس سرعة السائل

20.4 إستخدام النظائر المشعة للسيطرة على الطلاء الداخلي المضاد للحريق

تستخدم النظائر المشعة بنجاح في الأفران النفاخة وأفران كبريتات المغنيسيوم والإسمنت لكشف وتحديد مواقع الخلل في مواد التغليف الداخلي (التبطين) المقاوم للحريق. عند بناء الأفران توضع القناني الحاوية على المصادر المشعة (مثل الكوبلت - 60) على أعماق مختلفة في المادة التي تبطن الفرن من الداخل وتسجل الكثافة الإشعاعية بعد مرور المصدر المشع في البطانة بواسطة كاشف إشعاع. يحافظ النظير على كثافة إشعاعية غير متغيرة مدة بقاء الفرن بسبب طول عمر النصف. عندما يتلف المعدن الذائب على الطبقة الأولى من البطانة تبتعد القنينة القريبة من الفرن ولذا يسجل كاشف الإشعاع نقصانا في الكثافة الإشعاعية. إن اختفاء آخر قنينة يدل على تضرر وتمزق البطانة نتيجة الإستخدام ولذا يجب تغييرها أي تبطين الفرن مجدداً. يمكن أن تستخدم المصادر المشعة في ظروف كيميائية وفيزيائية صعبة وفي هذه الحالة في درجات حرارة عالية جداً.



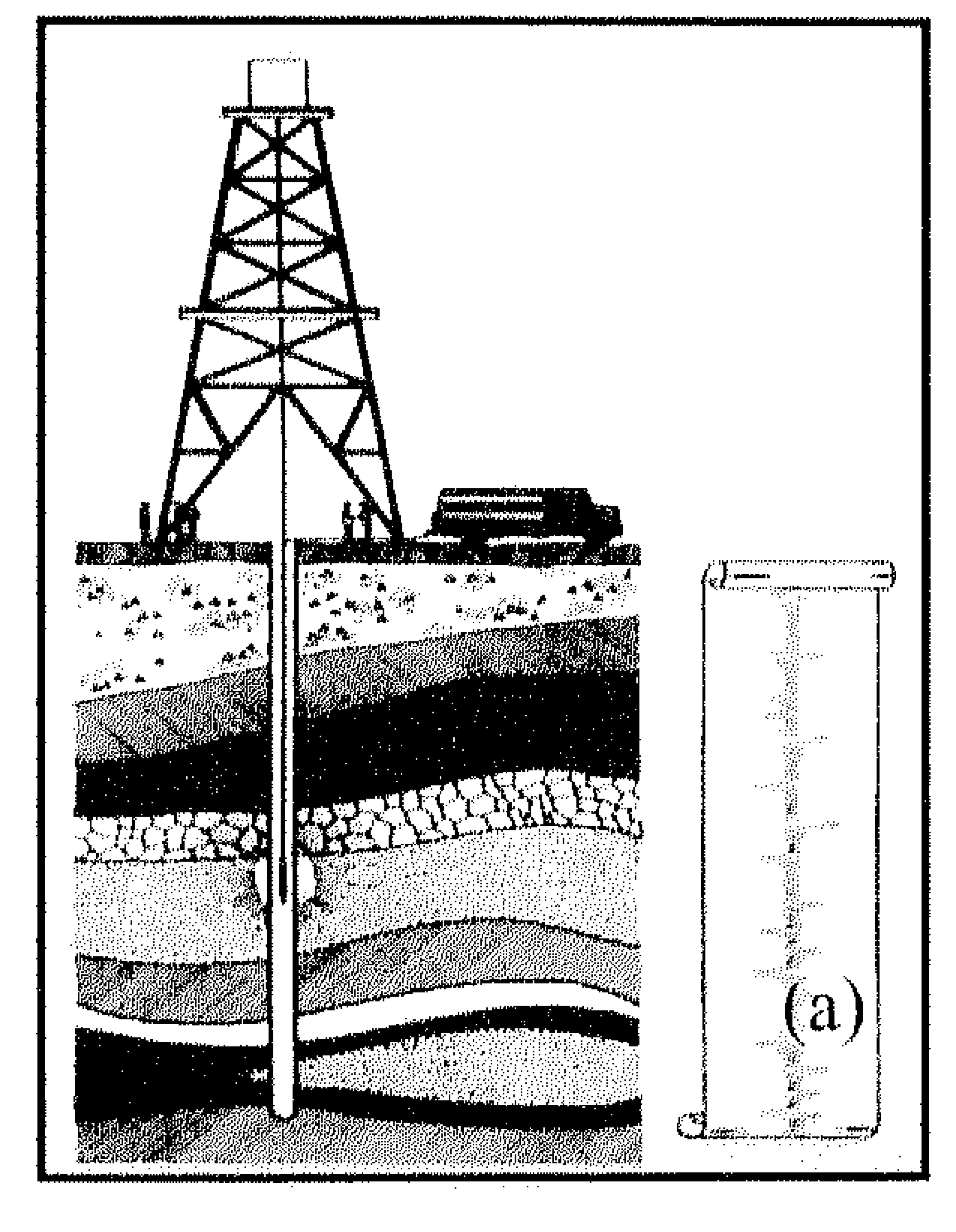
في الأفران النفاخة تتم السيطرة على المادة التي تبطن الفرن (ضد النار) بإستخدام الكوبلت 60 أو باعث آخر لأشعة كاما.



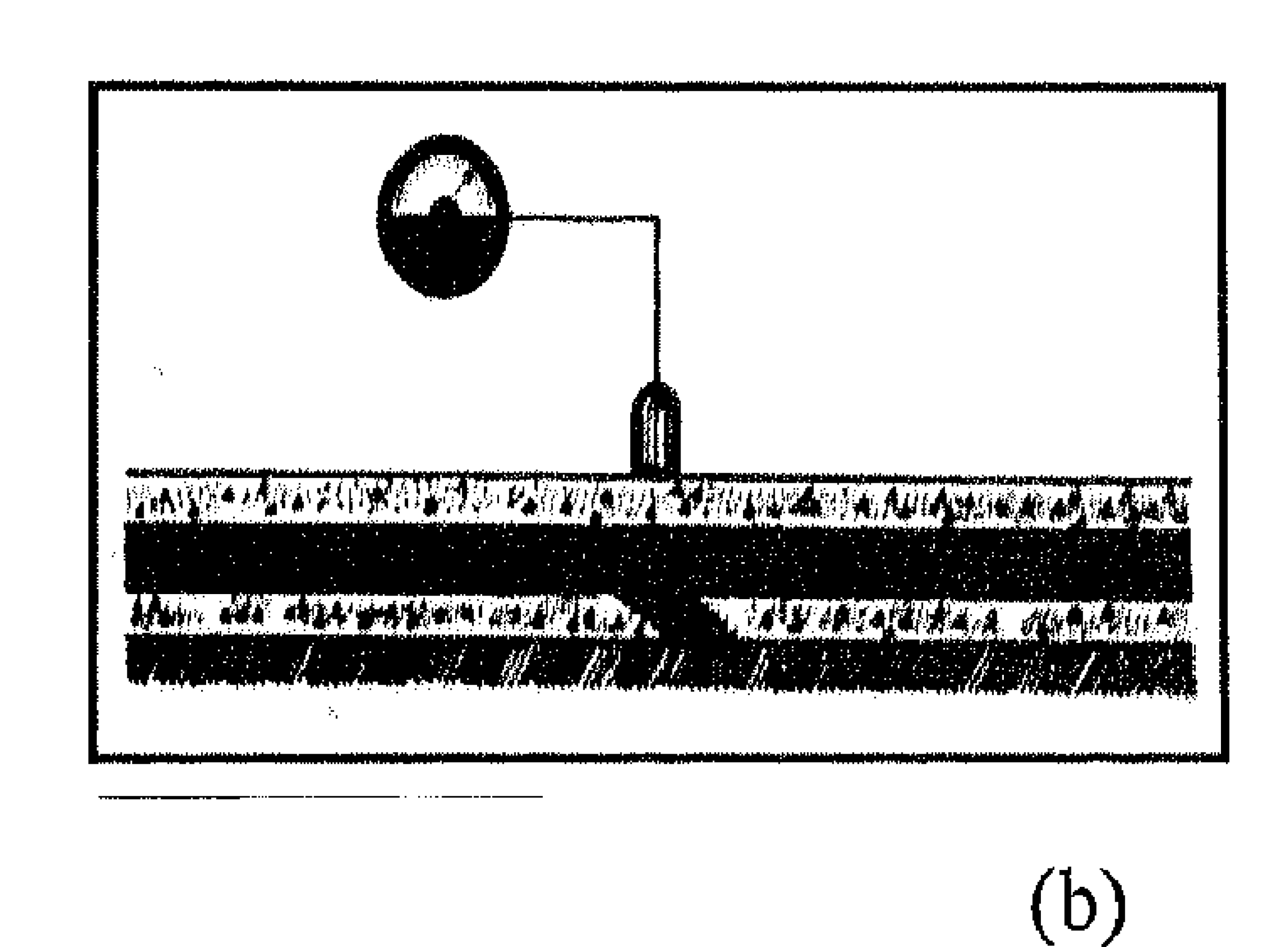
21.4 إستخدام النظائر المشعة في البحوث الجيولوجية والصناعة النفطية

تستخدم النظائر المشعة بصورة واسعة وبطرق مختلفة في البحوث الجيولوجية وفي الصناعة النفطية. توجد طرق عديدة ومعقدة تعتمد على استعمال النظائر المشعة وهي تساعد العلماء على تعيين العناصر الكيميائية التي تؤلف الطبقات الجيولوجية المنفصلة في الأرض على أعماق مختلفة. يوضع في داخل البئر (كما موضح في الصورة) احد مصادر النيوترونات السريعة (راديوم - بريليوم أو بولونيوم - بريليوم) ويتولد نشاط إشعاعي في المادة المجاورة للمصدر نتيجة التفاعلات النووية بواسطة هذه النيوترونات ويمكن تعيين تركيب الطبقة الأرضية اعتمادا على الخواص المعينة للنشاط الإشعاعي.

يمكن اعتماد نفس الطريقة لتعيين مواقع الآبار النفطية وبالإضافة لمعرفة طبيعة الهيدروجين في الصخور المجاورة نستطيع التمييز بين هيدروجين الماء وهيدروجين النفط. في الصناعة النفطية تستخدم النظائر المشعة أيضاً لاكتشاف النضوح في الأنابيب المدفونة تحت الأرض.



(a)



(b)

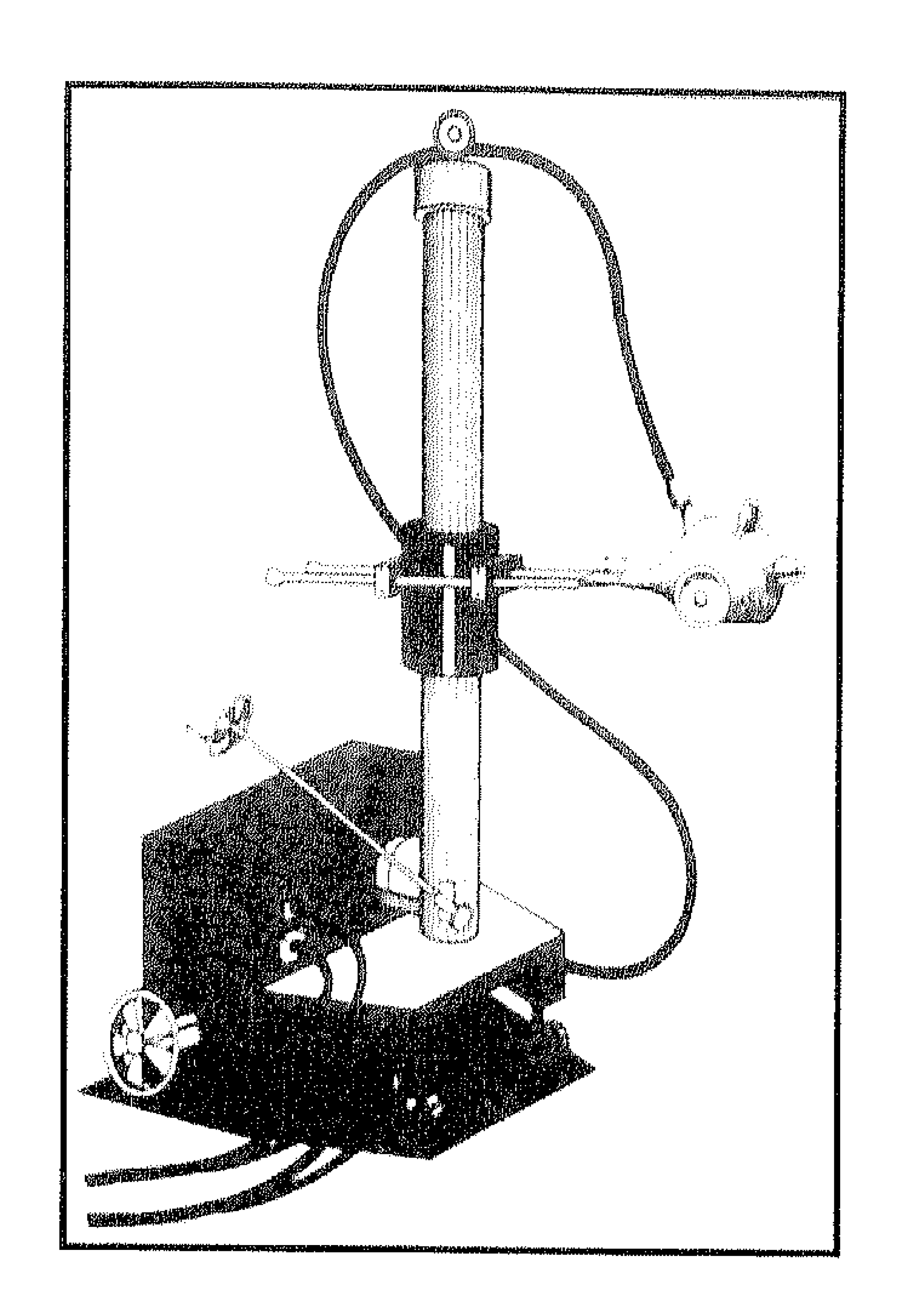
يجري اكتشاف النضوح في الأنابيب النفطية بإدخال نظير مشع مع النفط ثم تتبع حركته داخل الأنبوب. يكون موقع النضوح حيث تقل كثافة الإشعاع بسرعة.

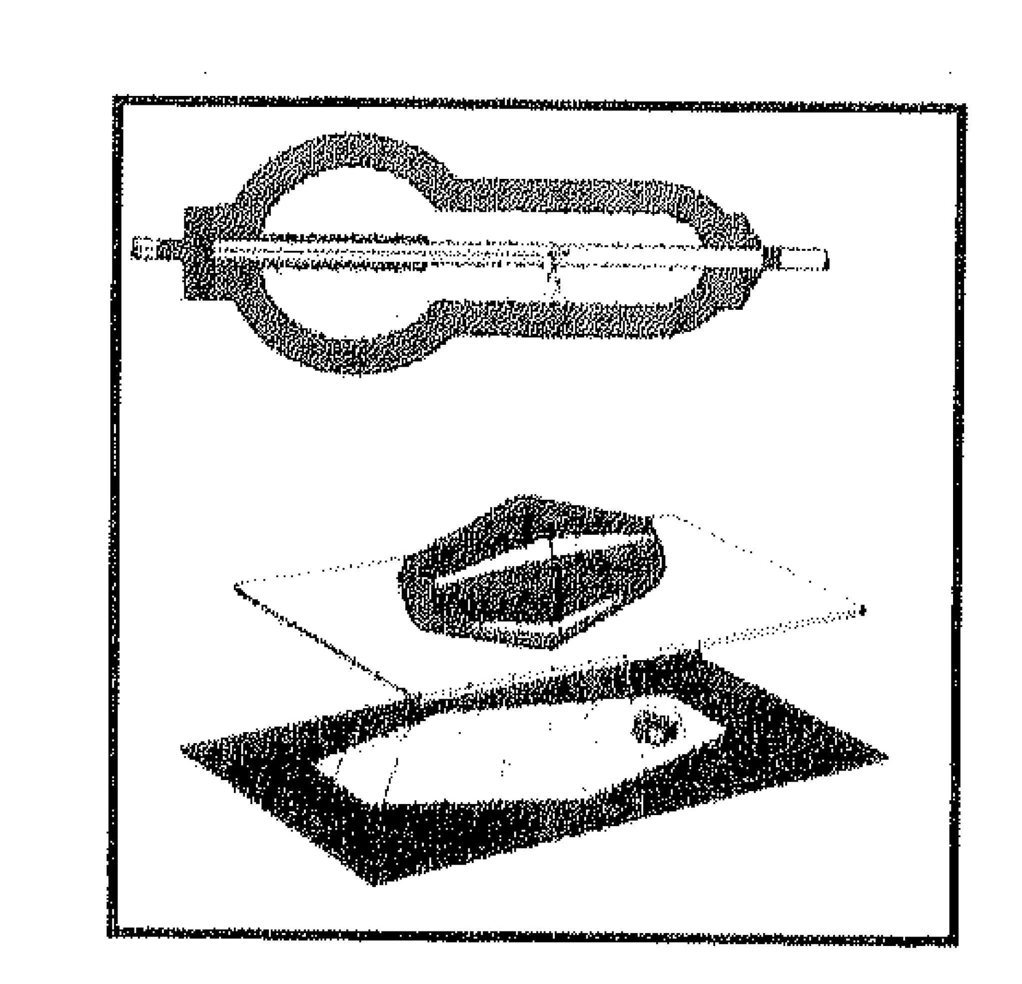
يتضح من هذا الرسم كيف أن العين الذرية تبحث عن النفط. يوضع أحد مصادر النيوترونات السريعة في البئر المحفور. وتولد هذه النيوترونات نشاً إشعاعياً في المادة المجاورة للمصدر. تعتمد مواصفات أو خواص النشاط الإشعاعي على العناصر التي تتألف منها المادة ولذا يمكن تعيين التركيب الكيميائي للأرض بصورة سريعة في الجهة اليمنى: شريط لتسجيل النشاط الإشعاعي وأن النبضات للعينة تخص أو تتعلق بوجود مواد معينة في البئر المحفور.

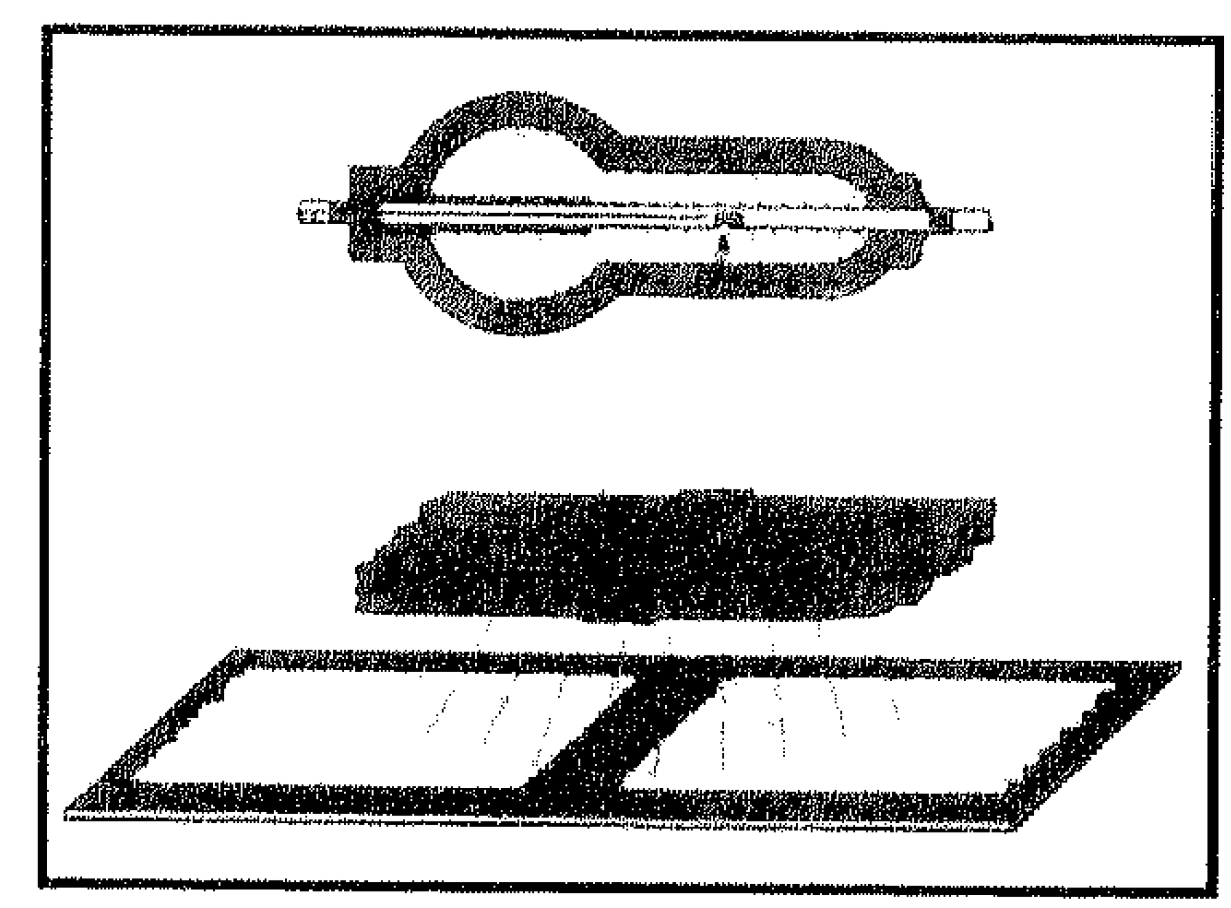
22.4 إستخدام النظائر المشعة لإكتشاف العيوب في المواد

إن الجهاز لقياس عيوب المواد بإستخدام أشعة كاما يستخدم للسيطرة على صب القوالب ولحام المعادن. إن هذه الطريقة التي تعتمد على أشعة كاما تستخدم بكثرة في مختلف فروع الصناعة كتركيب المكائن والسفن والجسور وكذلك في التعدين. يمكن أن يحدث وغالباً ما يحدث خلال صب المعادن في قوالب أن الصب يكون غير متجانس ويتضمن ثقوباً تقود لكسر القطع المعدنية ويستخدم الجهاز لكشف هذه العيوب. توضع القطعة المراد فحصها بين مصدر الإشعاع ولوح فوتوغرافي وبعد مدة مناسبة من تعرض اللوح تظهر عليه بعد غسله وتحميضه مناطق الخلل على شكل مناطق أكثر سواداً.

بنفس الطريقة يمكن السيطرة على لحام المعادن إذ يمكن إجراء الفحص بإستخدام عداد حيث يثبت كل من المصدرالمشع والعداد في موضع بينما توضع المادة المراد فحصها بين الاثنين وتحرك ببطئ وبصورة منتظمة ومادامت الإشعاعاتتخترق الأجزاء ذات الخلل بسهولة أكثر فأنها تسجل بواسطة العداد بسبب انتقال كثافات إشعاعية أعلى.







السيطرة على نوعية اللحام

23.4 إستخدام النظائر المشعة في الصناعات التكنولوجية والأغذية

إن إستخدام كميات كبيرة من الإشعاع للعمليات الصناعية أصبح الأساس في بعض الصناعات التكنولوجية المدهشة، ففي كل عام تحول مواد خام قيمتها ملايين الدنانير إلى مواد جديدة وأفضل. فالمصادر المشعة كالكوبلت – 60 والسيزيوم – 137 تستحق بجدارة أن تكون مصادر الإشعاع المناسبة لهذا الغرض، فالخشب والألياف المشبعة بالبلاستك تعرض للإشعاع لتوليد مواد جديدة لبناء وصناعة العديد من الأدوات فبعملية معينة يمكن إنتاج خشب ذا صلابة عالية جداً من خشب اعتيادي وهذه الإنتاج مقاوم جداً للتآكل أو التلف أو الحشرات أو العوامل المناخية. كذلك لا يمكن حرقها بسهولة كما وتحافظ على رونقها وشكلها لزمن طويل ويمكن تقطيعها بسهولة في الماكنة، كما ويمكن تلوينها بمختلف الألوان الجذابة. طريقة مماثلة لهذا التشبع والتشعيع قد

أنتجت نوعاً قوياً من الكونكريت في المناطق التي تحتاج لمقاومة الظروف خدمات خاصة وصعبة. الألياف المشبعة التي تدعى باليكاس ولمصنع من مخلفات قصب السكر والخيرزان والتوت يمكن تحويرها لبناء الجدران الخارجية وتعتبر نقطة تطويرها ذا أهمية خاصة لبلدان من جنوب شرقي آسيا حيث يكثر قصب السكر وتقل كميات الخشب المتين، فاليوم تنتشر معاملة الخشب البلاستيكي في كثير من البلدان منتجة المواد البطيئة التآكل كأغطية الأرض والمقابض والأدوات المنزلية.

تطبيق جيد ومفيد للمادة النووية في هذا العصر في صناعة الزلاقات الرياضية منها فعند وضع قشرة تحتها من المادة المشعة وجد بأنها ذات مقاومة عالية وتدوم زمناً. ففي فلندا تم صنع نوع من الزلاقات لم تظهر عليها علامات التآكل لأكثر من 500 km من التزحلق الرياضي. العديد من التطبيقات تم تطويرها لمختلف الصناعات والتجهيزات الرياضية، لعب الأطفال، الأدوات وهناك أيضاً احتمال الإستخدامات في صناعة النسيج لإنتاج نوع من الملابس المضادة للزيوت. وتعد إستخدامات الإشعاع في تعقيم المستخدمات الجراحية كالقفازات المطاطية وأنابيب القسطرة والتي يصعب تعقيمها بالطرق الاعتيادية مثل هذه المستخدمات تكون مغلقة بأوعية مفرغة من الهواء قبل التشعيع بحيث تمنع حدوث أي عملية بكتيرية. حفظ الأغذية بواسطة الإشعاع قد أثار حماس الكثير من أصحاب مصانع الأغذية في بلدان العالم. التعامل بالإشعاع يظهر بأن الطريقة الوحيدة لزيادة فترة خزن الأطعمة القابلة للفساد كالفواكه والتي لا يمكن طبخها أو معالجتها بالطرق الأخرى. إن عملية التشعيع أيضاً تساعد في تطهير الأطعمة الأخرى كالحبوب دون إتلافها. الشكل التالي يوضح مقارنة بين الخضروات الطبيعية والمعرضة للإشعاع بعد سنة واحدة من خزنها.

24.4 إستخدام النظائر المشعة في الصناعة

إن الكتابة عن إستخدام النظائر المشعة في الصناعة تعني عرض كل الفروع الأساسية في العلم والتكنيك الحديثين، إلا أننا سنقتصر في هذا المجال على التطبيقات التي نتصور أنها أكثر أهمية وإثارة، في بعض هذه الفروع.

1 - الوقاية من الشحنات الكهربائية.

كما ذكرنا سابقاً، تتأين المواد التي تتعرض للأشعة المنبعثة من الأجسام ذات النشاط الإشعاعي، وتتحول الغازات بتأثير ذلك إلى أوساط موصلة – على أساس هذه الخاصية تعمل عدة أجهزة للقياس. وتستخدم خاصية المواد المشعة هذه أيضاً في بناء الأجهزة التي تستخدم في التخلص من الشحنات الكهربائية الخطرة. في يوم جاف للطقس، جربوا أن تمشطوا شعركم بمشط من البلاستك، وإذا أقدمتم على ذلك في الظلام، فأنكم سترون شرارات جميلة عديدة ذات لون بنفسجي أصفر وتسمعون طقطقة خفيفة. وهكذا يتحول الشعر والمشط إلى آلية لتوليد الشحنات الكهربائية.

وإذا كانت الشرارة الكهربائية ذات الجهد العالي، المتولدة داخل اسطوانة آلة الاحتراق الداخلي تشعل بخار البنزين المضغوط في وقت محدد بدقة وتحقق بذلك عملاً نافعاً، ففي حالات أخرى، تسبب هذه الشرارات الجميلة البريئة في حدوث كوارث رهيبة. والغبار الدقيق المتكون من المطاحن ومصانع السكر، يمكن أن ينفجر بقوة قنبلة شديدة الانفجار وينفس بناءً ضخماً من الخرسانة المسلحة. وكم من المشاكل تنجم عن الشحنات المتولدة من احتكاك السطوح المادية الكبيرة أثناء عملية الإنتاج، حيث تصنع أو تستخدم رقائق البلاستيك أو ورق التغليف حيث تنسج الخيوط على الأنوال، وإذا لم يتم التخلص من هذه الشحنات الضئيلة فأنها تسبب فوضى في عمل المخارط والأجهزة التي تدار اوتوماتيكياً، مما يجعل السطوح المشحونة أما أن تلتصق بعضها ببعض أو أن

تبتعد عن بعضها كذلك فأن وجود الشحنات الكهربائية على هذه السطوح يجذب إليها الغبار فيتحول الإنتاج بذلك إلى سخط. وللتغلب على هذه المشاكل يكفي وضع جسم مشع – مصدر لجسيمات (بيتا) كالاسترونثيوم – 90 – قريباً من تلك المواد والمصنوعات التي تتولد عليها الشحنات باستمرار أثناء عملية الإنتاج وهكذا تتغير الصورة. أن جسيمات (بيتا) المنطلقة في جميع الاتجاهات تؤين الهواء المجاور وتحله إلى موصل. ونتيجة لذلك تتعادل الشحنات الكهربائية حال تولدها ولا تتراكم إلى القدر الذي يسمح بحدوث شرارة فكل ما يمكن أن يكون مشحون يفقد شحنته في وجود مصدر مشع.

2 - الراديوكرافيا (التصوير بأشعة كاما).

لقد استخدمت أشعة رونتجن منذ زمن بعيد لفحص الأجسام المختلفة والكشف عما قد يكون فيها من عيوب داخلية. غير أن أجهزة الأشعة المستخدمة لهذا الغرض كانت إلى وقت قريب ذات قدرة صغيرة. فلم يتعد الجهد الكهربائي على مصعد (انود) الإنبوبة 30 – 75 ألف فولت إلا في حالات نادرة وكان هذا في أغلب الأحيان غير كاف. أما الأجهزة الخاصة ذات الجهد العالي حيث يصل فق الجهد في الإنبوبة100 – 250 ألف فولت، فقد تعطى أشعة تسمح بفحص المصنوعات المعدنية الرقيقة نسبياً فقط. أما الأجهزة التي يصل فرق الجهد بين المهبط والمصعد فيها إلى مليون فولت أو أكثر والتي كان يمكن أن تعطى أشعة تسمح بفحص الأجسام الأكثر سمكاً فهي على درجة من التعقيد وارتفاع الثمن بحيث لا يتعدى عدد الموجود منها حتى وقتنا هذا عدد الأصابع.

وقد وجد حل لهذه المشكلة وهو على غاية من البساطة، بإستخدام المواد المشعة، فأشعة كاما التي يطلقها الراديوم تسمح بفحص سبائك السلب السميكة والدروع الهائلة والمحاور الضخمة وغيرها من المصنوعات. غير أن كمية الراديوم المعروفة في العالم كله للأسف على درجة من الضآلة بحيث يستبعد معها إستخدامها إستخداماً واسعاً في الأغراض التكنيكية. وهنا تظهر على

المسرح النظائر الصناعية المشعة المحضرة في المفاعلات النووية فهي أرخص بكثير من أجهزة رونتجن (أجهزة الأشعة) وذات إشعاعات قوية. فتحضير الكوبالت – 60 المشع بسيط نسبياً ورخيص. ولكن الأشعة التي يطلقها لها قدرة على النفاذ تعادل قدرة أشعة رونتجن والتي لا يمكن الحصول عليها إلا بواسطة أجهزة ضخمة ومعقدة تعمل بجهد كهربائي في مصعد الإنبوب يساوي مليوني فولت. والكوبالت –60 يسمح بفحص فولاذ يصل سمكه إلى 150 mm وفي بعض الأحيان 250 mm وإستخدامه أكثر ملائمة لظروف الصناعة حيث تعرض المنتجات المراد فحصها لأشعة طول الليل ويأتي الفاحص في الصباح ليجد صوراً جاهزة لباطنها. وسنعرض الآن ببعض التفصيل لأحد أنواع أجهزة الكوبالت "المدفع" الكوبالتي. هذا الجهاز عبارة عن اسطوانة من الصلب سميكة الجدران وفي وضعه الاعتيادي (العنق إلى الأعلى) هذه الاسطوانة هي الوعاء الذي يستخدم لحفظ قطعة أو أكثر من الكوبالت - 60 ومن أجل تشغيله، يلزم قلبه فقط، بحيث يكون عنقه إلى أسفل عندئذ تهبط قطعة الكوبالت من خلال قناة خاصة إلى نهاية العنق حيث ينفتح أمامها.تحت تأثير الجاذبية حاجزان سميكان من الرصاص. وهنا يمكن توجيه أشعة "كاما" المنبعثة من الكوبالت إلى الجسم المراد فحصه مباشرة. وتوضع خلف الجسم علبة بها فلم للتصوير، حساس بدرجة خاصة لأشعة "كاما". وفي الشكل التالي نموذج للصور الملتقطة بمثل هذا الجهاز. وفي الأجزاء التي تكون فيها طبقة المعدن أرق يكون امتصاص أشعة "كاما" أقل وذلك تظهر في الصورة بشكل أدكن. وأهم ميزات هذه الطريقة هي سهولة ومرونة العمل بأجهزة (كاما).

ولعل أفضل مثال على توضيح السهولة التي توفرها أجهزة التصوير بأشعة "كاما" هو الجهاز الصغير الذي يمكن وضعه في الجيب المبين في الشكل التالي. إن هذا الجهاز من حيث تأثيره يكافئ جهازاً كبيراً من أجهزة رونتجن وهو عبارة عن اسطوانة من الرصاص طولها 115 mm وقطرها 50 mm ، تمر في وسطها

قناة منحنية قطرها 2.5 mm. ويكون داخل هذه القناة كوب صغير من الألمنيوم قابل للحركة قطره 2.5 mm وطوله حوالي 10 mm وبضغط المنفاخ الشبيه بذلك المستخدم في آلات التصوير العادية. يتحرك الكوب بالتوليوم في وضع تشغيل من قلب الاسطوانة الرصاصية في اتجاه طرفها المغطى بغطاء من البلاستيك. وفي وضع الكوب هذا يبعث التوليوم حزمه ضيقة من أشعة "كاما" عمودية على سطح الاسطوانة المستوي. وعندما لا يعمل الجهاز ينزلق الكوب إلى داخل القناة اتوماتيكياً. وعندئذ لا تنفذ أشعة "كاما" إلى الخارج بل يمتصها الرصاص تماما نتيجة لانحناء القناة. ويزن هذا الجهاز حوالي 2.5 kg واستعماله غير خطير ويمكن إستخدامه في الأغراض الطبية (الفحص والعلاج) ولاكتشاف العيوب في الصناعة لأن أشعة التوليوم لها القدرة على النفاذ خلال فولاذ سمكه 2.5 cm.

3 - تحديد سمك الأشياء.

إن المواضع الفاتحة أو القائمة في صورة بأشعة رونتجن لجسم إنسان أو أي شيء آخر، تعني أن هذه الأجزاء أو تلك من الجسم المعرض للفحص تسمح لأشعة "كاما" بالمرور خلالها بدرجات متفاوتة أو تحول دون ذلك. والقاعدة العامة هنا هي أنه كلما كانت المادة التي تعترض طريقة أشعة "كاما" أكثر كثافة، أي أثقل كلما كانت درجة إعاقتها الأشعة من المرور أكبر ومن هنا يمكن الاستعانة بهذه الصور كمقياس للكثافة. وإذا كانت هذه الكثافة معروفة مسبقاً، فمقارنة أفتح مواضع الصورة الناتجة وأدكنها بنموذج مغاير قبل يمكن قياس سمك الجسم المصور بدقة كافية.

وفي الأجهزة المصممة لهذا الغرض يمكن أن توضع بدلاً من الفيلم الحساس، أية أجهزة أخرى تستطيع قياس شدة أشعة "كاما" التي تصل إليها كالعداد الأيوني. ويحتوي الجهاز عادة على عدادين أيونيين يقيس أحدهما سمك المادة قيد الفحص ويقيس الآخر سمك عينة قياسية معدة من قبل. وتوصل بالجهاز دائرة كهربائية. بحيث يمر التياران الكهربائيان الخارجان من العدادين في

اتجاهين متضادين، وبالدائرة مقياس لشدة التيار وفي حالة تساوي سمك المادة قيد الفحص والعينة القياسية، يشير مؤشر الكشاف إلى الصفر، وعندما يختلف سمك المادة قيد الفحص عن سمك العينة القياسية بالزيادة أو النقصان، تتغير شدة التيار الخارج من العداد المناظر، وينحرف المؤشر يميناً أو يساراً، دالاً بذلك على وجود عيب في المادة. ويمكن كذلك إستخدام التغير في شدة التيار في إدارة الماكينات التي تنتج هذه المواد إدارة اتوماتيكية. فعندما يكون سمك الرقيقة أقل من المطلوب، يشغل هذا التيار محركاً خاصاً يعمل على أبعاد درفيلي الماكينة فيزداد سمك الرقيقة أو الشريط المار بينهما. وبنفس الطريقة يمكن تقليل السمك.

4 - الانبعاث الإشعاعي والصناعية الكيميائية .

البلمرة في الكيمياء العضوية وعلى الأخص في كيمياء البلاستيك الصناعي، هي تلك التفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى اتحاد عدد كبير من الجزيئات في سلسلة طويلة مكونة جزيئاً كبيراً عملاقاً يسمى بـ (البولمر). وفي حالات عديدة، تساعد الإشعاعات الذرية على بدء عمليات البلمرة التي يصعب أن تبدأ أو التي ما كانت لتبدأ على الإطلاق بإتباع طرق أخرى. وتكتسب بعض أنواع البلاستيك خواص جديدة بتأثير الإشعاعات الذرية. فالبوليتين المستخدم بكثرة في صنع أجزاء الأجهزة الكهربائية وأجهزة الراديو، تزداد خاصية عزله للكهرباء بتعريضه لأشعة "كاما" وبالتالي تزداد قدرته على الاحتفاظ بخاصيته كعازل عند درجات الحرارة العالية بشكل ملحوظ. والطريقة الوحيدة لتحضير البنزين حتى الآن هي التقطير الاتلافي للنفط تحت درجة حرارة وضغط عاليين. وقد اكتشف حديثاً غاز الاستيلين يتبلمر متحولاً إلى بنزين بتعريضه لأشعة "بيتا" عالية والطاقة ونسبة البنزين الناتج في بداية التجارب، لا تقل عن 20٪ ومن الصعب أن نحكم الآن على مدى الفوائد الاقتصادية والفنية لهذه الطريقة

العجيبة لإنتاج البنزين، وإمكانية إستخدامها في الصناعة إلا أن هذه الطريقة تبدو مغرية جداً إذ يمكن إجراء العملية كلها في درجة حرارة لا تتعدى 25C.

إن أشعة (كاما) كما نعلم عبارة عن موجات كهرومغناطيسية غاية في القصر أي أنها ضوء لكنه لا يرى بالعين المجردة. وكل فوتون من أشعة (كاما) ذو طاقة كبيرة جداً وبالتالي تكون قدرته على بذل الشغل أكبر من قدرة فوتون الضوء المرئي بكثير. ومن المعروف أن عملية الاتحاد الكيميائي لبعض المواد المعروفة باسم الهالوجينات (الفلور، الكلور، اليود) مع عناصر كيميائية أخرى، تتم في الظلام ببطئ شديد ولتعجيلها يلزم مصدر للضوء الساطع. وفي الوقت الحالي أمكن تعجيل هذه العمليات بإستخدام لمبات الأشعة فوق البنفسجية – أنشطة الأشعة في طيف الشمس - (طاقة فوتوناتها أكبر طاقة يحللها فوتون في طيف الشمس). وإستخدام أشعة (كاما) الأكثر فعالية نشاطية من الأشعة فوق البنفسجية مرات عديدة تسمح بزيادة سرعة عمليات تحضير المركبات الكيميائية الهالوجينية عدة مرات. إن أساس عدد كبير من التفاعلات الكيميائية هو عمليات التأكسد وأهمها التفاعلات المتسلسلة التي تتم بوجود الأوكسجين غير أن كثير من هذه التفاعلات، أما أن يجري ببطء شديد أو يصعب التحكم فيه لتوجيه حيب المقتضى. وفي نفس الوقت يسبب التأكسد السريع لمعظم المواد والعناصر التي تتعرض لأشعة قوية من النيوترونات أو جسيمات "بيتا" أو لأشعة "كاما" القوية مشاكل كبيرة للعلماء والمهندسين المشتغلين باستغلال المفاعلات النووية. وإستخدام الإشعاعات الذرية هنا، يبشر بنتائج غاية في الأهمية وفي بعض الحالات بنتائج غريبة وغير متوقعة. ولا يجد العلماء الآن تفسيراً لبعض الظاهر التي تواجههم فالوقود المستخدم في الصواريخ مثلاً كالبرونان إذا مرر قبل إدخاله غرف الاحتراق خلال شبكة من خيوط مجهزة من ذهب ذي فعالية إشعاعية تصل إلى حوالي 10 آلاف كوري وإذا كانت

للشبكة ثقوب صغيرة جداً قطرها cm 0.001 فأن فعالية هذا الوقود تزداد بنسبة 50٪.

5 - الكشف الإشعاعي.

لقد أدى اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي إلى تحقيق حلم الإنسان هذا فذرات المواد المشعة ((مشاغبة)) للغاية تقذف من نوياتها باستمرار جسيمات أو تبعث أشعة (كاما) إن وجدت وحيثما ذهبت وفي أية تفاعلات كيميائية دخلت مما يسمح بمتابعتها متابعة مستمرة بإستخدام وسائل على درجة كافية من البساطة. فالعداد الأيوني يعد الجسيمات المارة فيه وغرفة ويلسن والمستحلب الفوتوغرافي يتيحان رؤية آثار حركة هذه الجسيمات وكل هذا يتم دون الحاجة إلى إدخال ذرات غريبة في المادة قيد الدراسة تلك الذرات التي ربما أثرت إلى هذا الحد أو ذاك على سير هذه أو تلك من العمليات الفيزيائية أو الكيميائية إذ يمكن إستخدام النظائر المشعة للمادة قيد الدراسة. فيضاف قليل من الحديد المشع إلى مصهور الحديد العادي مثلاً، ويدرس انتشار الفعالية الإشعاعية في المصهور وبذلك يمكن معرفة كيفية امتزاج الحديد وكيف يعتمد ذلك على درجة الحرارة وعلى العكس يمكن إضافة كمية من مادة أخرى مشعة إلى مصهور الحديد وبعد الحصول على السبيكة الجاهزة يدرس أين وفي أي الأماكن تجمعت جزيئات أو ذرات هذه المادة وهذا سهل جداً إذ أن هذه الذرات لا تكف عن إرسال إشارات (أنا هنا)، (عددنا كذا). ولملائمة النظائر المشعة أي الذرات المرسومة ولسهولة اندماجها في أية مادة أو مركب كيميائي أو مزيج خليط أو أية مادة عضوية معقدة أو جسم أي كان حي ولسهولة تتبعها بعد الاندماج كل ذلك مكن من استحداث طريقة جديدة تماما في البحث في كل فرع من فروع العلم والتكنيك والصناعة ولكم بعض الأمثلة.

تصوروا أن شرخاً حدث في خط أنابيب لتوصيل الماء أو الغاز يمر على عمق كبير تحت شوارع مأهولة لإحدى المدن ويمكن أن يؤدي هذا الشرخ الصغير إلى

عطب كبير وتحديد مكانه بدقة أمر يكاد يكون متعذراً فما العمل؟ هل نحفر في كل الطريق الذي قد يصل طوله إلى عدة كيلومترات؟ أم ننتظر حتى تتسرب كمية ملحوظة من الماء أو الغاز على ما في ذلك من خسارة؟ إلا أننا لو أضفنا إلى الماء أو الغاز المار في هذه الأنابيب قليلاً من النظائر المشعة غير الخطرة على المستهلك ذات نصف العمر القصير فبعد مرور بعض الوقت، ستنفذ إلى التربة المحيطة بمنطقة تسرب الماء أو الغاز كمية كافيه من الذرات المشعة التي (تصرخ بصوت مرتفع) معلنة عن وجودها يمكن اكتشاف هذه الذرات بسهولة بواسطة عداد أيوني مثبت في نهاية مجس يطمر على التتابع في الأرض على طول الطريق وبذلك نجد مكان العطب أو تسجل الإشارات الواردة من العداد على شريط مغناطيسي طوله يساوي طول الطريق والعداد يسحب على طول الطريق على عربه صغيرة ثم يسمح الشريط في المختبر بواسطة جهاز التسجيل فتحوي ضوضاء صاخبة في المكان الذي التقطت في إشارات الإشعاعات الذرية عندئذ يوقف الشريط وتقاس المسافة من بدايته حتى هذا المكان وترسل فرقة التصليح لمكان العطب. وتعتبر الذرات التي تبعث بإشارات تدل على مكان وجودها في المادة وعلى جميع المراحل حركتها وتحولها وسيلة نافعة للضبط والمشاهدة والبحث وينتظرها مستقبل باهر في العلم والتكنيك والإنتاج. لكن هذه أبسط صور إستخدام طريقة الذرات الموسومة بأنها المدرسة الابتدائية للطاقة الذرية (الصغيرة) إلا أنه يمكن تطويرها وتحويلها من منفعلة إلى فعالة. ولقد وجدت الطرق الفعالة لإستخدام النظائر المشعة تطبيقاً واسع النطاق على وجه الخصوص في الكيمياء والبيولوجيا والطب.

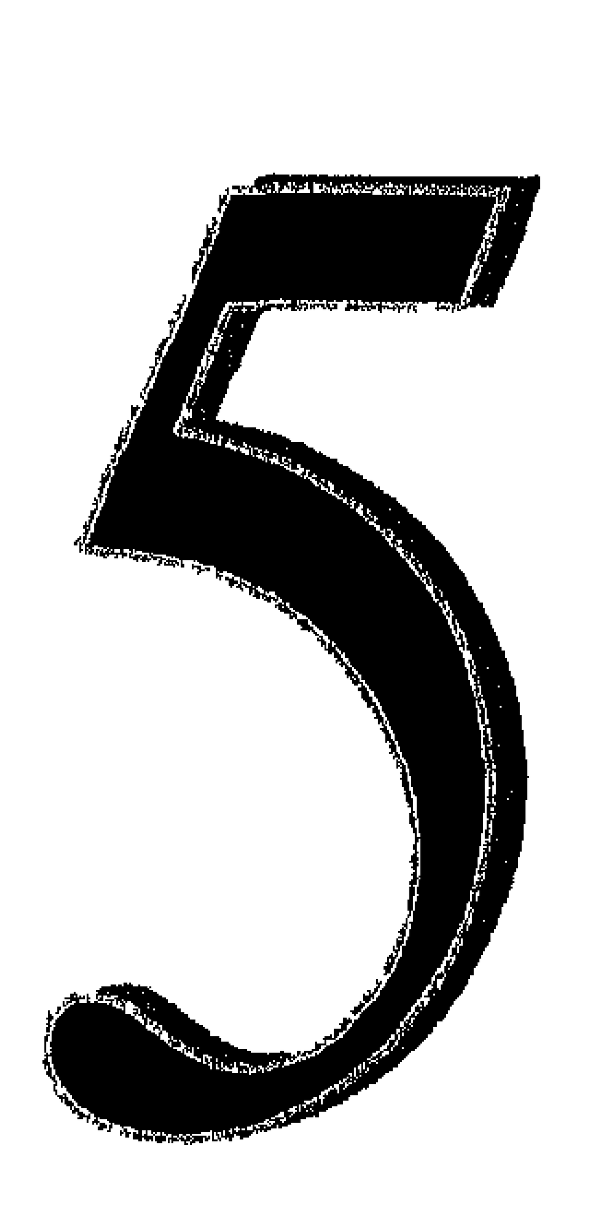
الفحوصات اللاإتلافية للمواد الهندسية

مبادئ أساسية وتطبيق



الفصل الخامس

بالموجات فوق الصوتية



Test by Ultrasonic

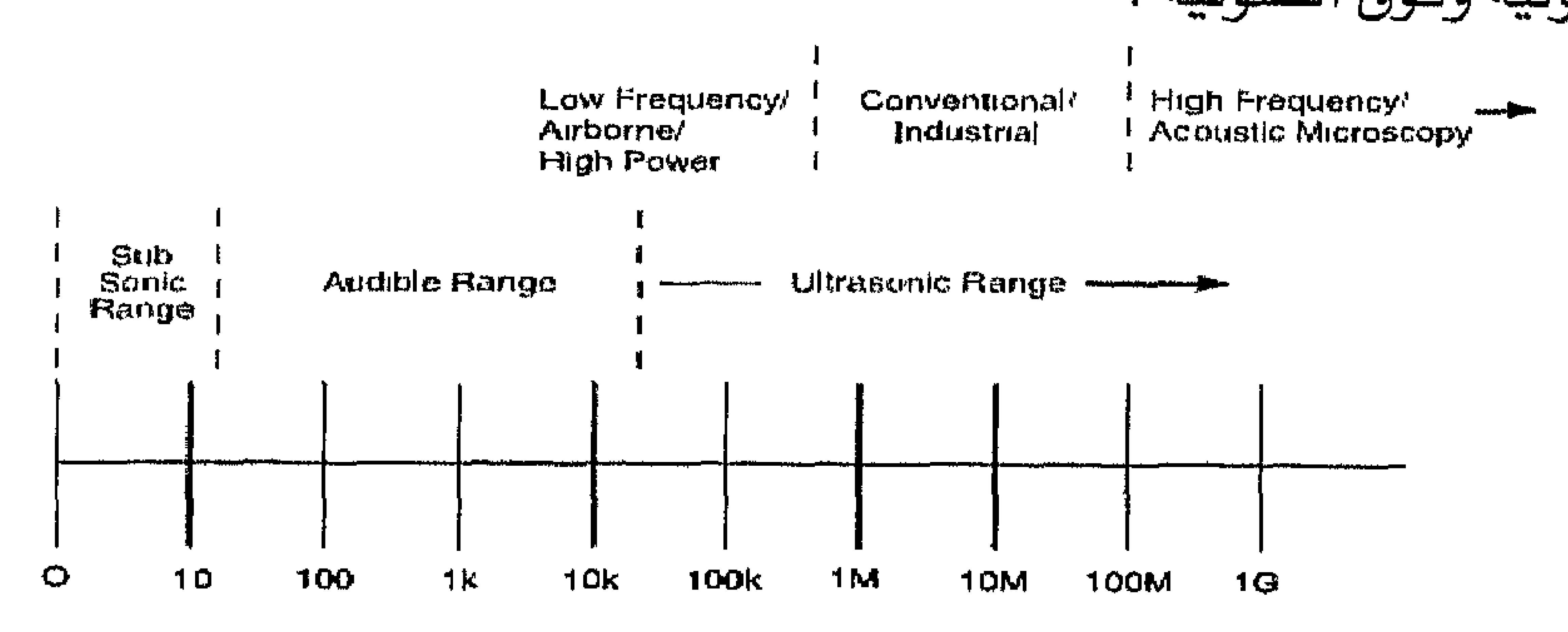
الفصل الخامس

بالموجات فوق الصوتية Test by Ultrasonic



1.5 المقدمـة

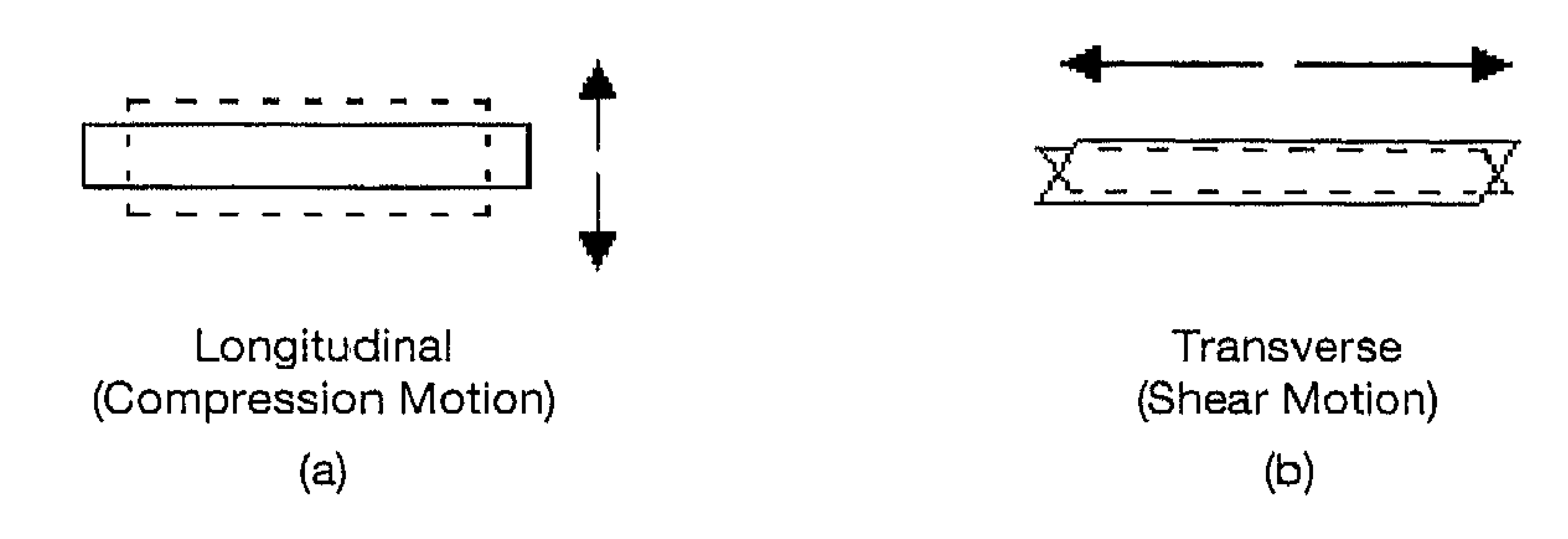
لقـد وجدنا ان الموجـات الصـوتية المسـموعة هـي تلـك الـتي لا يقـل ضـغطها الصوتي عن 10^{-6} باسـكال ويتراوح ترددها بين (20-20,000)HZ.اما الموجات فوق الصوتية فيكون ترددها عالي اي طاقة عالية لاجراء الفحوصات والقياسات كما مـبين في الشـكل (1). ويمكـن اسـتخدامها لانـواع مختلفـة مـن المـواد مثـل (المسـبوكات، المطروقـات، الملحومـات، المـواد المركبـة)، وتسـتخدم ايضـا في التصـوير الطـبي وتعتمـد فكـرة عمـل تلـك الأجهـزة الطبيـة علـى الموجـات فـوق الصوتية التي تسقط على الجسم وتنعكس عنه مثل ما يقـوم الخفـاش الـذي يطـير في الليل مستعينا بالموجات فوق الصوتية التي يحدثها لتسقط على الأجسـام أمامـه وتنعكس عنهـا ويسـمعها فيحـدد مسـاره دون الحاجة إلى حاسـة الإبصـار ليسـتدل على الطريـق ولـذلك يستطيع الطـيران في الليـل. كمـا تسـتخدم الحيتـان في البحـر الموجـات فـوق الصـوتية وتسـتخدمها الغواصـات البحريـة كجهـاز رادار يعمـل في أعماق المحيطـات لكشـف الغواصـات المعاديـة. شـكل (1) يمثل تـرددات الموجـات الصـوتية وفوق الصوتية .



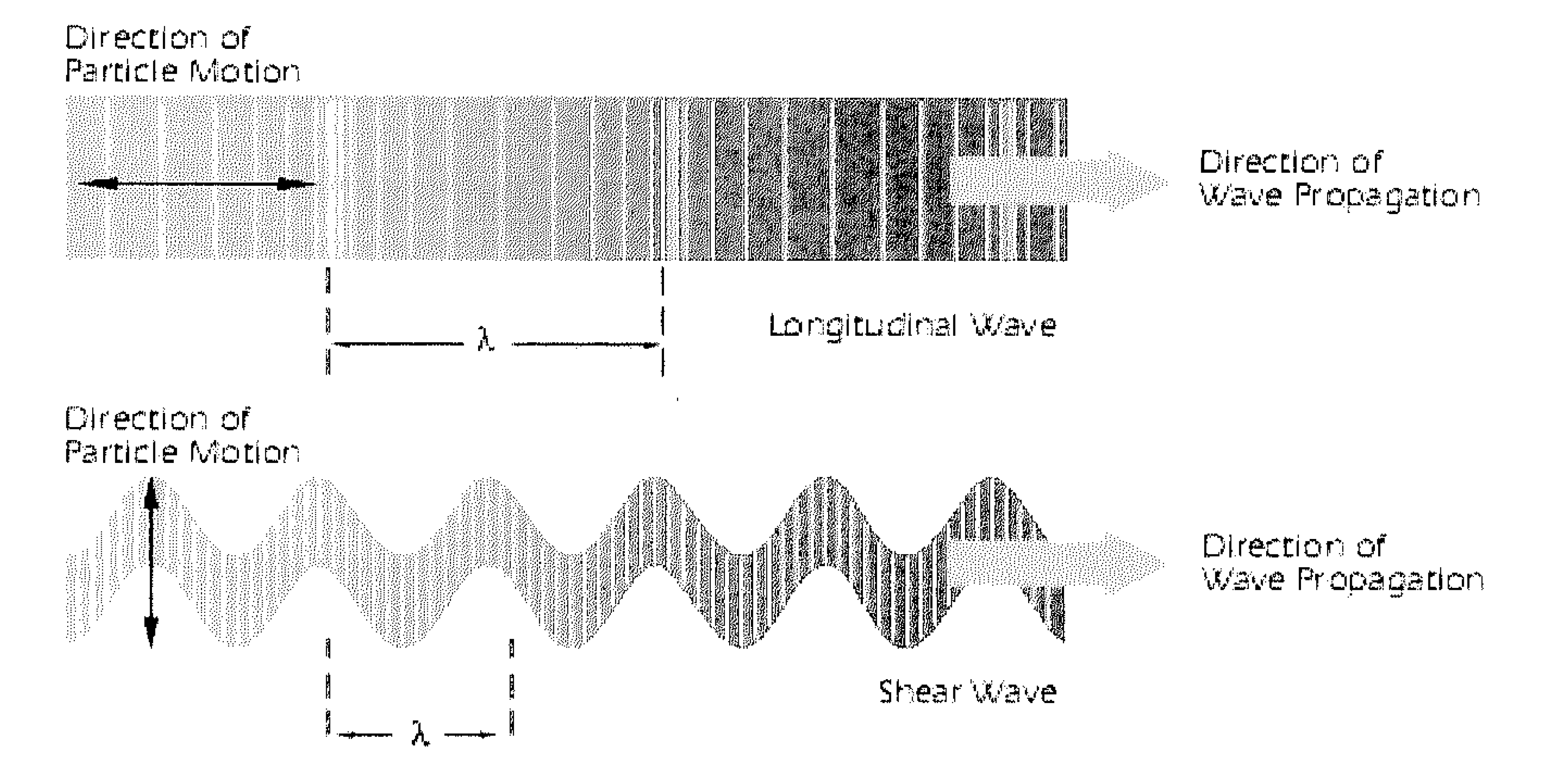
شـكل (1): ترددات الموجات الصوتية وفوق الصوتية

2.5 خواص الموجات فوق الصوتية

تنتقل الموجات فوق الصوتية أساسا بخطوط مستقيمة وبأنواع مختلفة كما موضح في الشكل (2) و (3) نتيجة قصر طول موجاتها وتفيد هذه الخاصية كثيرا لتعيين الشروخ، الا ان هنالك بعض الانتشار لهذه الموجات. فاذا اصطدمت الموجات فوق الصوتية بسطح بيني (interface) بين وسطين فان جزء من الطاقة سوف ينعكس وجزء ينتقل.



شكل (2): انتقال الموجات فوق الصوتية الطولية والعرضية



شكل (3): انتقال الموجات فوق الصوتية بخطوط مستقيمة.

ومن القوانين المهمة المستخدمة في الموجات فوق الصوتية :

$$\Longrightarrow \lambda = CT$$

$$\Longrightarrow T = \frac{Ct}{2}$$

حيث :

T= سمك المادة .

C= سرعة صوت المادة .

t= سرعة الطيران.

$$\Longrightarrow \sigma = \frac{1-2(V_T/V_L)^2}{2-2(V_T/V_L)^2}$$

$$\Longrightarrow E = \frac{V_L{}^2\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}{(1-\sigma)}$$

$$\Longrightarrow G = V_T{}^2\rho$$

σ = Poisson's Ratio

V_L = Longitudinal Velocity

V_T = Shear (Transverse) Velocity

ρ = Material Density

E = Young's Modulus

G = Shear Modulus

$$\Longrightarrow f = 1/T$$

$$\Longrightarrow \lambda = C/f$$

T = Period of time

3.5 سرعة الموجات فوق الصوتية في المادة

اذا انتقلت الموجة بشكل مباشر كما في الشكل (2) و (3) تسمى الموجة الطولية (longitudinal) وسرعة هذه الموجة اي سرعة موجة الضغط للمادة تحسب من المعادلة التالية:

$$V_c = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

Where

Vc = compression wave velocity

E = Young's modulus of elasticity

ρ = material density

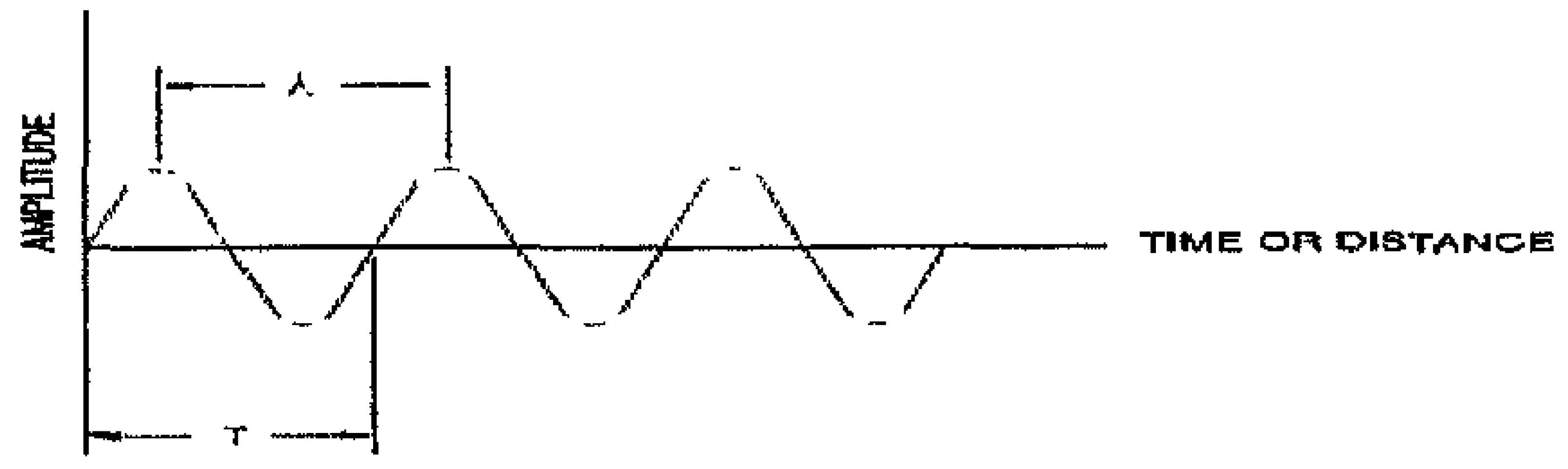
σ = Poisson's ratio

أما الموجة التي تنتقل بشكل عرضي (transverse) على سطح المادة ويرمز لها V_s وتحسب من المعادلة التالية:

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{1}{2(1+\sigma)}}$$

أو تساوي :

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$



The number of cycles completed in one second is called frequency (f) and is measured in Hertz (Hz), some examples follow;

- 1 cycle/second= 1 Hz
- 1000 cycles/second= 1 kHz
- 1,000,000 cycles/second= 1MHz

ويكون انتقال هذه الموجات بعدة طرق كما مبين ادناه: -

1- انعكاس.

2- انكسار.

3- حيود.

4- امتصاص.

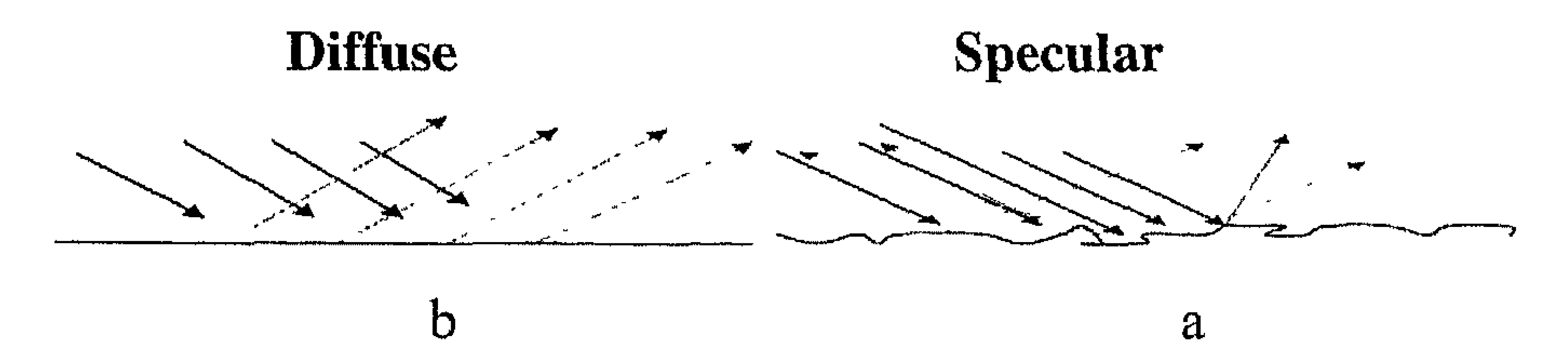
5- ممانعة صوتية.

4.5 الانعكاس والانكسار

الانعكاس هو ظاهرة ارتداد هذه الموجات الساقطة على سطح فاصل بين وسطين الى الوسط الذي قدم منه وينقسم الى نوعين: -

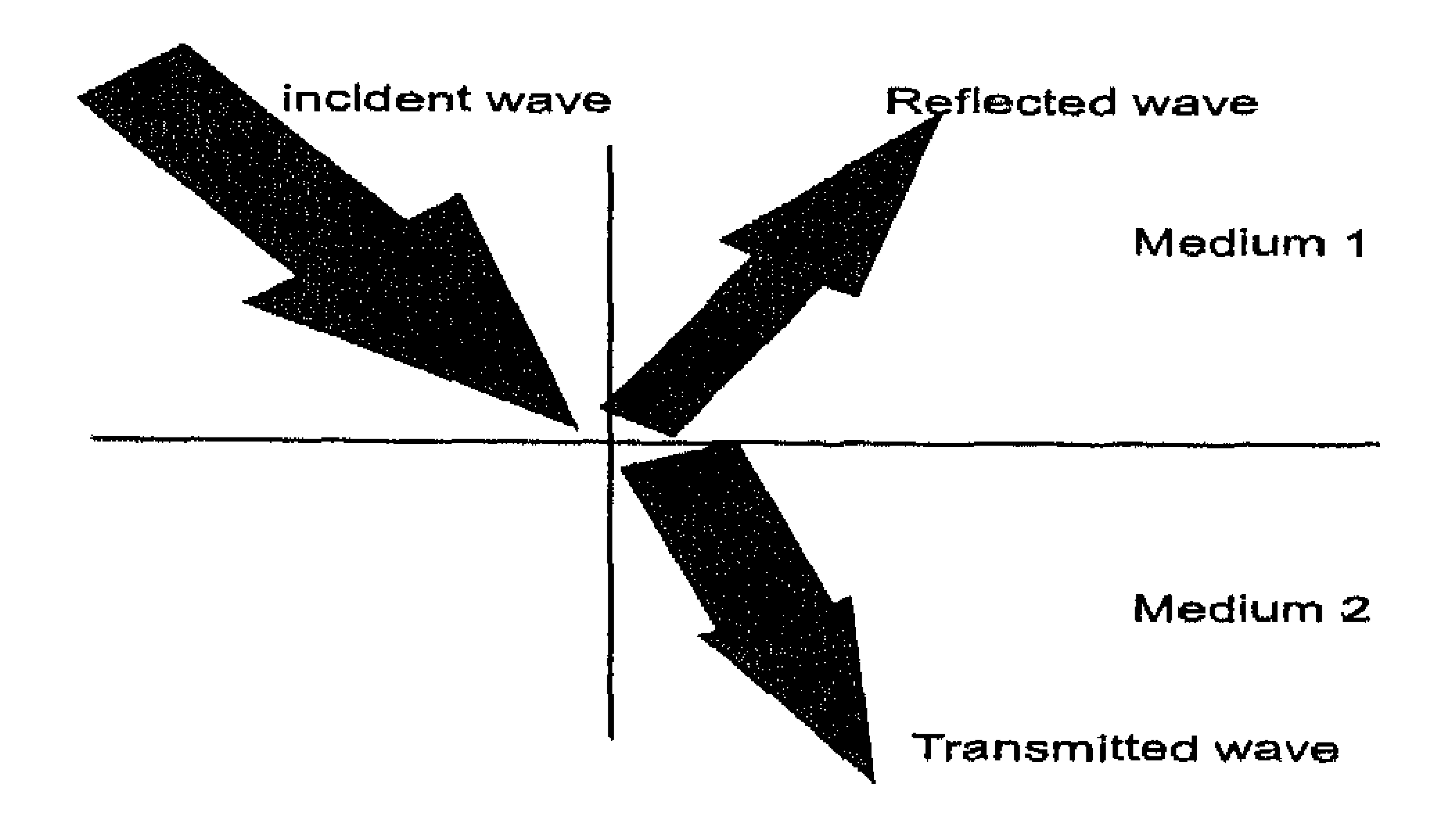
1 - الانعكاس البراق (Specular Reflection) والذي يحدث في السطوح الناعمة الكبيرة.

2 - الانعكاس المنتشر (Diffuse Reflections) ويحدث في السطوح الخشنة.كما مبين في الشكل ادناه:



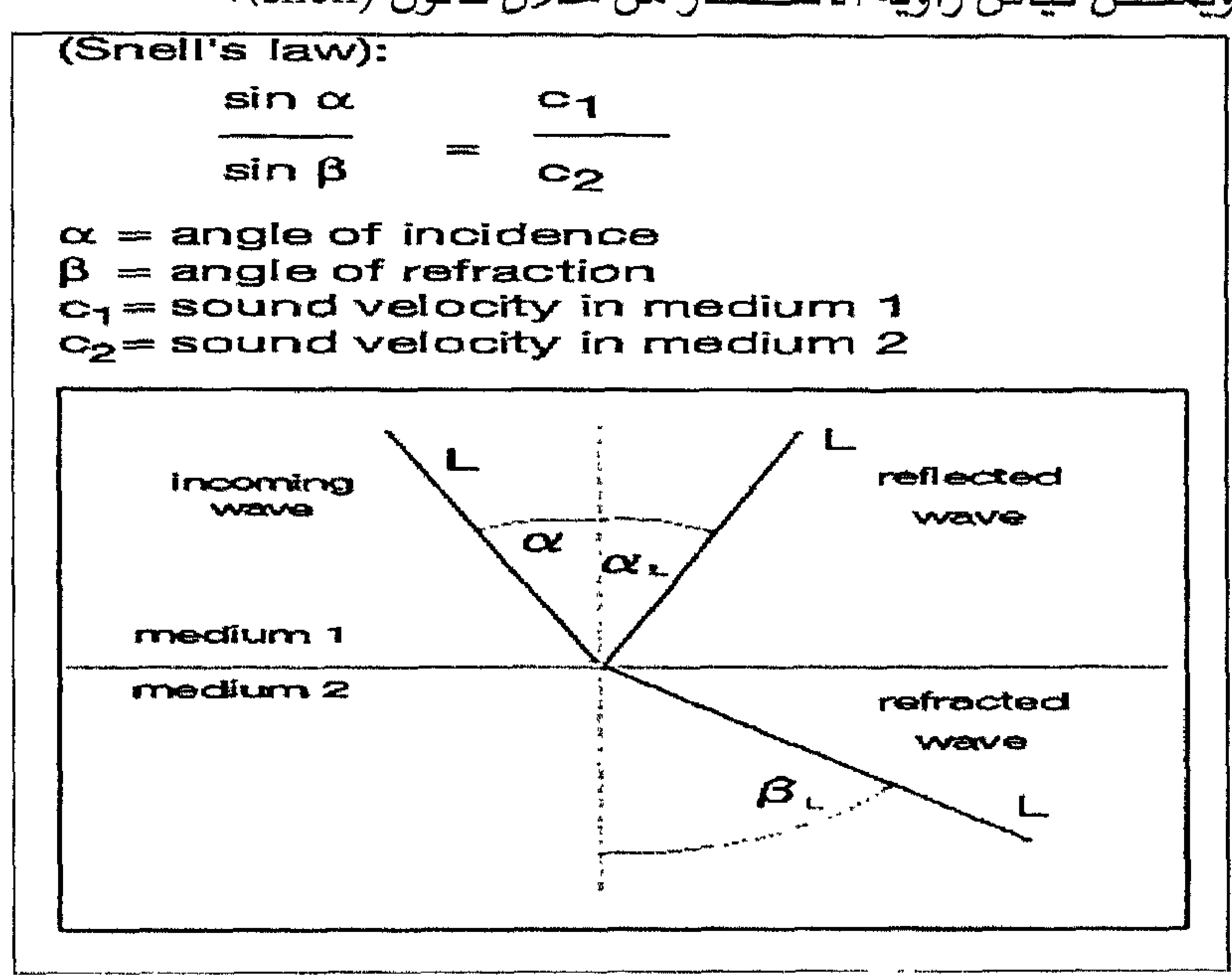
شكل (4): يوضح a: الانعكاس البراق. b: الانعكاس المنتشر.

الانكسار يحدث عندما هذه الموجات تنتقل بين وسطين مختلفين بالخصائص الفيزيائية اي (مختلفين بالسرع) كما مبين في الشكل ادناه. وينتج الانعكاس والانكسار من وجود عيب او شق في الجزء المراد فحصه وبالتالي نتمكن من تحديد مكان العيب او الشق.



شكل (5): يوضح الموجة الساقطة والمنعكسة والنافذة.

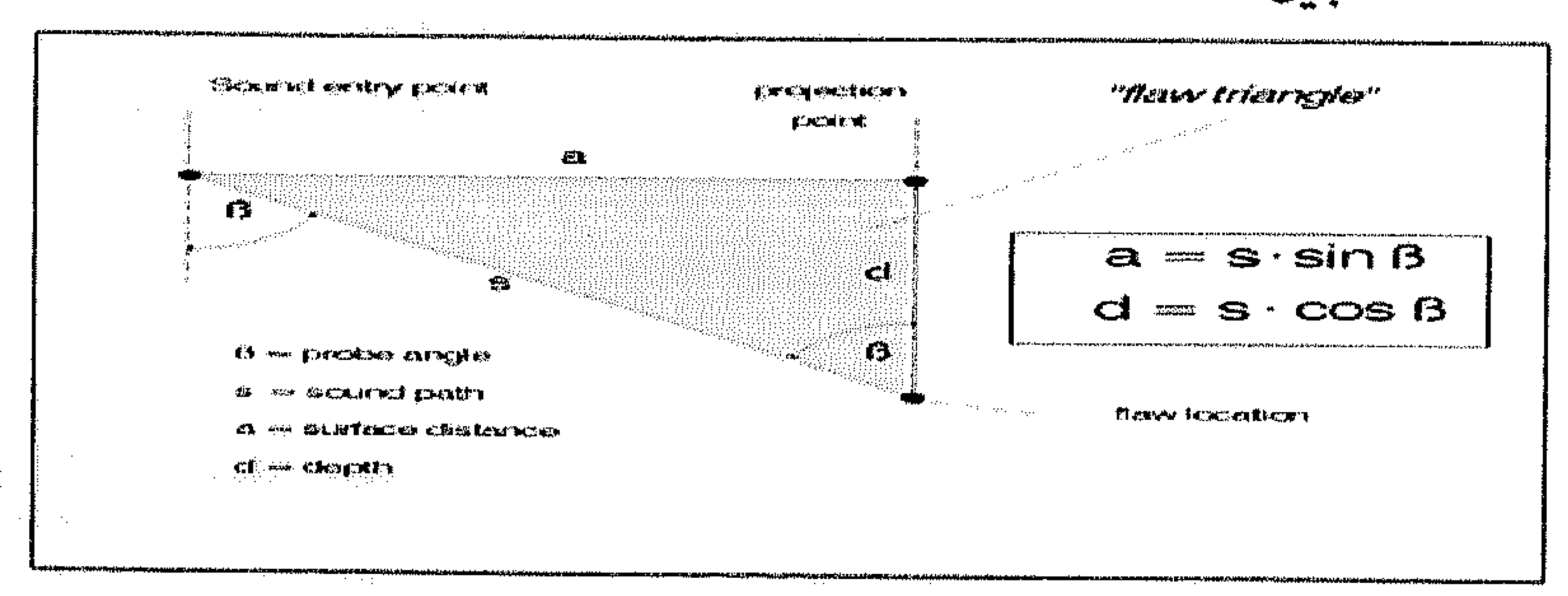
ويمكن قياس زاوية الانكسار من خلال قانون (snell):



شكل (6): الانعكاس والانكسار بدون الموجات العرضية.

5.5 الحيود

يحصل عندما تمر حزمة من الموجات بعائق بسمك طول موجي واحد او ضعف طول الموجة ،وكلما قربت الموجة من الجسم العائق كلما زاد الانحراف (الحيود) كما مبين ادناه:



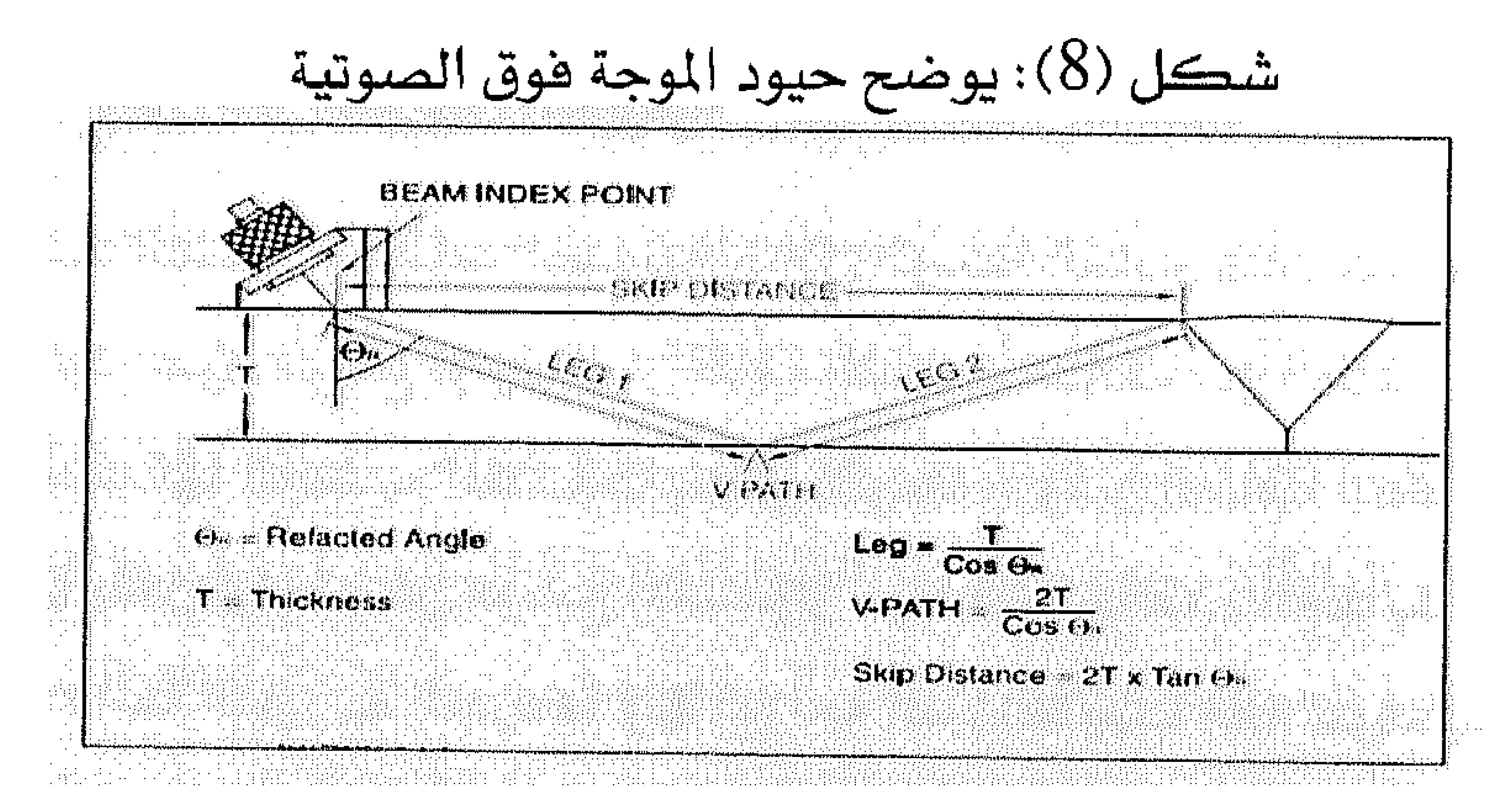
شكل (7): يوضح حساب عمق الشق

Deflecting beam

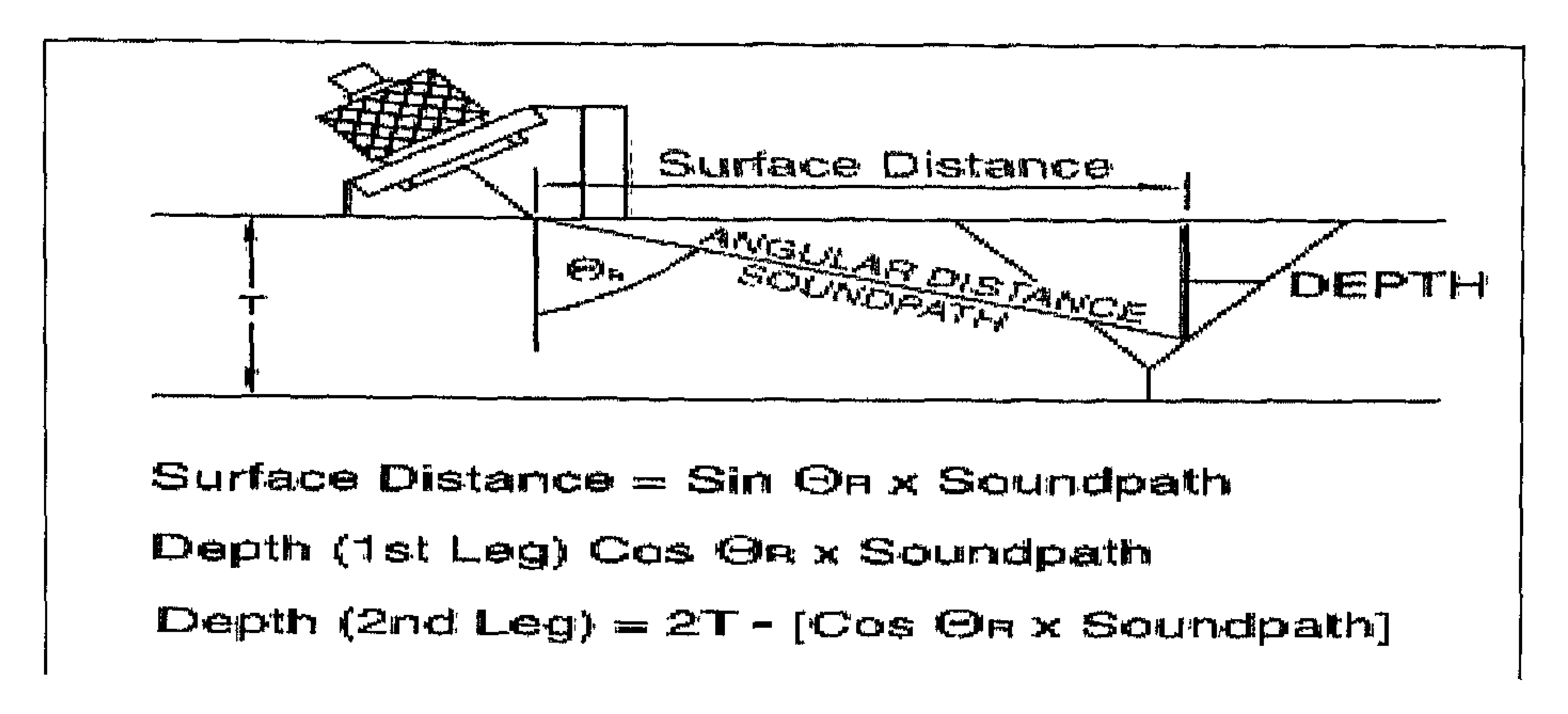
Diffracting Object

1 or 2 wavelengths

شكل (8): يوضح حيود الموجة فوق الصوتية



شكل (9): يوضح كيفية حساب مسار الموجة.



شكل (10): يوضح كيفية حساب عمق الشق.



6.5 الممانعة الصوتية

هي اعاقة اهتزاز جسيمات المادة بواسطة الصوت ويتم حسابها من المعادلة الاتية:

$Z = \rho c$

Z = Acoustic Impedance

C = Material Sound Velocity

ρ = Material Density

7.5 توهين الموجات فوق الصوتية وأسباب تبدد طاقتها

عند انتشار الموجات الصوتية خلال الوسط المادي فان جسيمات ذلك الوسط تهتز حول مواقع توازنها وان طاقة التذبذب تتألف من الطاقة الحركية التي يكتسبها الجسيم المتذبذب بفعل سرعته ، ومن الطاقة الكامنة التي يكتسبها بفعل إزاحته عن موضع الاستقرار . ولما كانت هذه الجسيمات الناقلة للموجات دائمة التغير في الحركة وفي الإزاحة أثناء التذبذب فانه سوف يترتب عن ذلك إن هاتين الطاقتين دائمتا التغير في مقداريهما وفي الواقع فان كل جسيم

مهتز يجابه نوعاً من القوى المقاومة لحركته والتي تؤدي إلى حصول توهين في حركته الاهتزازية تدريجياً مع الزمن . وتتبدد طاقة الموجات الصوتية أثناء انتقالها في الوسط المادي وتتحول إلى طاقة حرارية وان مصدر هذا التبدد في الطاقة يمكن تقسيمه إلى نوعين رئيسين هما :

1 - التبدد الناشئ عن فقدان الطاقة بسبب عدة ظواهر منها الاستطارة ، الحيود ، الانكسار ، الانعكاس .

2 - التبدد الناشئ عن امتصاص الطاقة والتي تحول الطاقة الميكانيكية إلى حرارة بسبب الاحتكاك الداخلي بين جزيئات المائع . وتعتبر عملية فقدان الطاقة بسبب الامتصاص صفة مميزة للوسط والتي من خلالها يمكن استنتاج معلومات مهمة حول الخصائص الفيزيائية لمادة الوسط الناقل .

ويمكن تعليل سبب تبدد طاقة الأمواج الصوتية وتحولها إلى طاقة حرارية داخل الوسط الذي تنتقل خلاله الأمواج لعدة أسباب منها :

1 -**التبدد الحاصل في الطاقة بسبب لزوجة الوسط الناقل** .

اللزوجة هي الاحتكاك الداخلي بين طبقات المائع وهي تقاوم كافة أنواع الحركة الحاصلة داخل المائع . ولذلك ونتيجة للحركة النسبية بين طبقات الوسط المائع المتاخمة لبعضها البعض والناشئة عن الانضغاط والتخلخل الحاصل في المائع نتيجة انتقال الموجات الصوتية فيه يحصل التبدد في طاقة الموجات الصوتية المارة خلال الوسط وان مقدار المقاومة التي يبديها المائع بسبب لزوجته لحركة الجسيم تعتمد على سرعة الجسيم وخواص المائع . فعند السرعة المتوسطة أو الواطئة يكون مقدار القوة المعيقة (الممانعة) متناسبة خطياً مع السرعة الآنية للجسيمات المهتزة . على الرغم مما يسببه الاحتكاك الداخلي ما بين طبقات المائع من تبدد طاقة الموجة فان وجود هذا الاحتكاك ضروري لعملية انتقال الطاقة من المصدر وخلال المائع .

2 - إنتقال الحرارة بالتوصيل من مناطق التضاغط إلى مناطق التخلخل .

نتيجة لمرور الموجات الصوتية تتولد مناطق تضاغط وتخلخل ففي مناطق التضاغط ونتيجة للتكثيف الحاصل لجسيمات الوسط سوف ترتفع درجة الحرارة عند هذه المناطق عما كانت عليه قبل التأثير ، أما في مناطق التخلخل ونتيجة لتباعد جسيمات الوسط ينخفض الضغط مما يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة عما كانت عليه قبل التأثير ، وحيث إن الانتقال يعمل على تبدد طاقة الموجة ومحاولة نشرها بالتساوي بين أجزاء الوسط ، وقد دلت التجارب العملية على إن هذا التبدد في الطاقة يتناسب طردياً مع تردد الموجة ، وهذا يعني إن الطاقة تتبدد في الموجات ذات الطول الموجي القصير أسرع من تبددها في الموجات ذات الطول الموجي الكبير .

3 -انتقال الحرارة بالإشعاع من مناطق التضاغط إلى مناطق التخلخل .

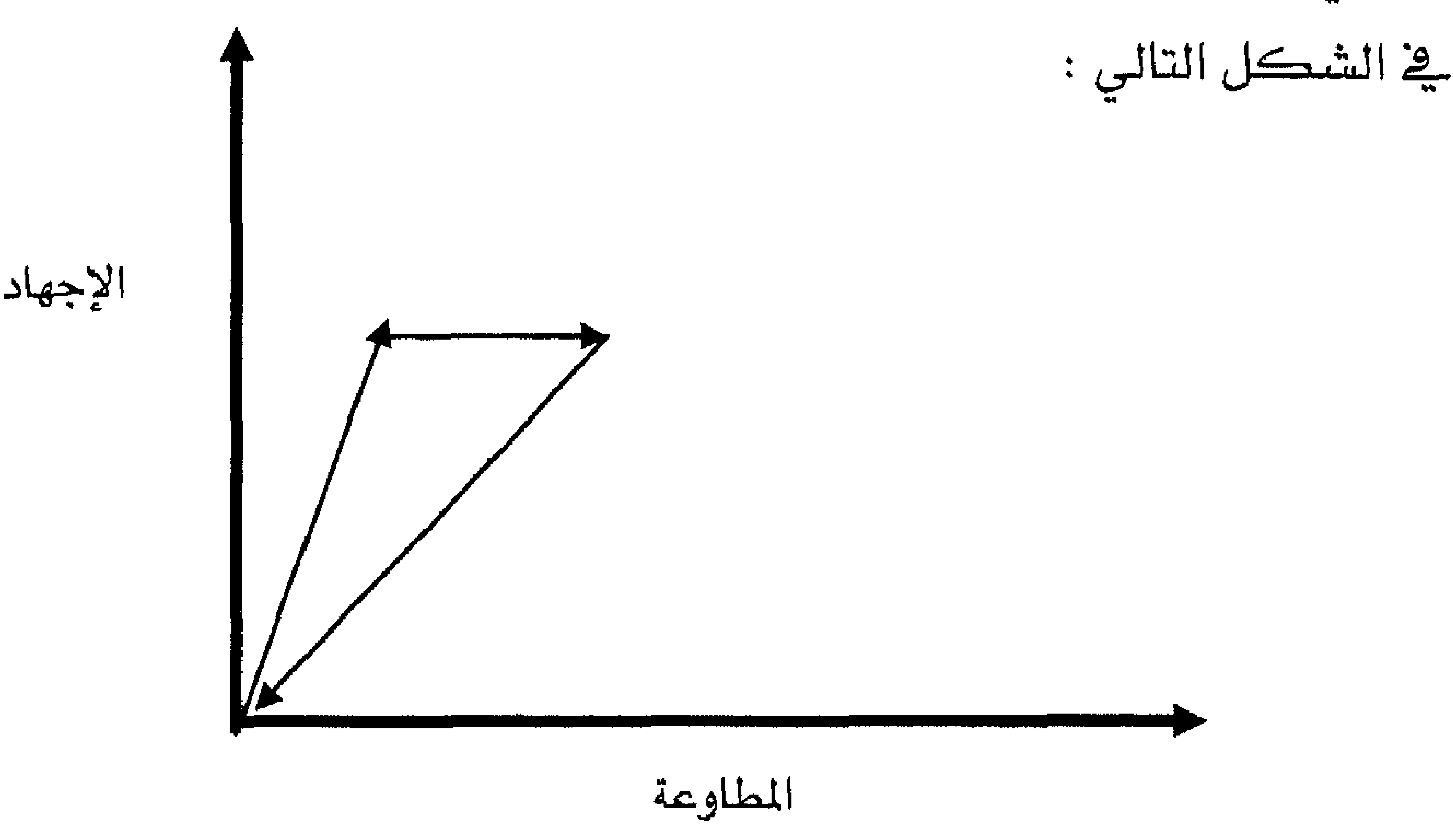
ويمكن تسمية نوع التبدد الحاصل في الطاقة في (a & b) والمؤدي إلى حصول توهين في الموجة الصوتية الساقطة بالامتصاص الاسترخائي ، ويعتبر هذا النوع من الامتصاص أكثر الأنواع شيوعاً عند الترددات العالية جداً (الواقعة ضمن الترددات فوق السمعية) .

4 -تبادل الطاقة بين جزيئات الوسط الناقل .

ان هذا النوع من التبدد في الطاقة ينشأ عن الامتصاص المتضمن تحول الطاقة الحركية للجزيئات إلى أشكال أخرى هي : طاقة كامنة مخزونة (كما في إعادة ترتيب البناء للجزيئات المتجاورة في بعض التشكيلات العنقودية Closter) ، طاقة دورانية واهتزازية داخلية (كما في الجزيئات متعددة الذرات)، وطاقة ترابط وانحلال بين ايونات الفراغ المختلفة والتراكيب المعقدة للمحاليل الأيونية .

5 -**الامتصاص بسبب ظاهرة الهسترة .**

عند تسليط إجهاد (إديباتيكي) معين وبشكل دوري على وسط ما فان المطاوعة الناتجة لا تتغير خطياً مع الإجهاد المطبق على الرغم من إن قانون هوك يتحقق بالنسبة لنفس الإجهاد ولكن تحت الشروط الإيزوثرمية ، ولهذا فان منحني (الإجهاد / المطاوعة) سيتخذ شكلاً يشابه حلقة الهسترة كما هو مبين في الشكل التالي :



حيث يبين الجزء المنقط من المخطط الحالة الحقيقية الحاصلة في حين الجزء غير المنقط يمثل الحالة المثالية وان مساحة هذه الحلقة تمثل مقدار الطاقة الممتصة لكل نصف دورة لوحدة الحجم من المادة ، وان الفقدان الحاصل خلال الدورة لا يعتمد على التردد .

8.5 معامل الإمتصاص

عند انتشار الموجات فوق السمعية خلال الوسط فسيتم امتصاص جزء من طاقتها وتحويلها إلى حرارة كما مر ذكره في البند السابق وان نسبة الحرارة المتولدة في حجم معين من الوسط يمكن تحديده بواسطة سعة الموجة والتردد . فلو تصورنا شريحة رقيقة من الوسط عمودية على خط انتشار الموجة وذات سمك

مقداره (dx) وتقع على بعد (x) من نقطة الأصل ففي الحالة كون التوهين منتظماً فان الفقدان النسبي للطاقة لوحدة الطول يمكن إيجاده من العلاقة التالية : -

$$dE / E = -2\alpha \ dx \ ....(1)$$

وتمثل (E) كثافة الطاقة الابتدائية للموجة ، (α) معامل الامتصاص للوسط . وحيث ان الفقدان في طاقة الموجة يكون على أساس تناقص لوغاريتمي مقداره ($\bar{-}$) كما ولهذا فان جزء الطاقة المفقودة خلال الدورة الواحدة يعطي بالعلاقة التالية : -

$$W_m / W_m W_{n-1} - W_{n-1} = 1 - An^2 / An-1^2 \ ....(2)$$

حيث ان ($A^\alpha W$) ويمثل (Wm) الطاقة الميكانيكية السلكية للموجة المتنقلة .

وحيث ان : -

$$Exp(\delta) = A0 / A1 = A1 / A2 = ... = An-1 / An$$

حيث ان (A_0) تمثل السعة الابتدائية للموجة . ومن تعريف الدالة الاسية نحصل على

$$W_m / W_{n-1} = 1 - exp(-2\delta) = 2\delta$$

وحيث ان شدة الموجات الصوتية تتناسب طردياً مع كثافة الطاقة لان شدة الصوت عند نقطة ما يمثل مقدار الطاقة الكامنة التي تمر خلال وحدة الزمن بوجه السطوح التي مركزها تلك النقطة ، ولهذا يمكن كتابة المعادلة (1) بالصيغة التالية : -

$$dI / I = 2\delta \ dx \ ....(3)$$

ونستنتج من المعادلة السابقة بان معامل الامتصاص يساوي جزء الطاقة الذي تمتصه وحدة أطوال الوسط وان وحدة قياس معامل الامتصاص تساوي

مقلوب وحدة الأطوال . وبتكامل المعادلة (3) وتطبيق الشروط الحدودية التالية (عند X=0 فإن $I=I_0$)

نحصل على : -

$$Ln\, I = I_0\, 2\alpha\, dx$$

$$Ln\, I / I_0 = -2\alpha\, x$$

وبأخذ (exp) للطرفين نحصل على : -

$$I = I_0 \exp(-2\alpha\, x) \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

وبما ان شدة الموجة تتناسب طردياً مع مربع سعة الموجة

$$A = A_0 \exp(-\alpha\, x) \ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

وباستخدام العلاقة السابقة نحصل على معامل الامتصاص (α) كما يلي : -

$$Ln\, A / A_0 = -\alpha\, x \ldots\ldots\ldots(6)$$

$$Ln\,(A / A_0)\, /\, -x \ldots\ldots\ldots(7) = \alpha$$

إن معامل الامتصاص (α) يزودنا بمعلومات عن عمليات الامتصاص والاستطارة الحاصلة في النموذج ، ففي عملية الامتصاص يتم تحويل طاقة الموجات فوق السمعية إلى حرارة مباشرة ، بينما في عملية الاستطارة يعاد توزيع الطاقة إلى مويجات متعددة والتي سيتم امتصاص طاقاتها فيما بعد بعمليات الامتصاص . وان معامل الامتصاص يتأثر بعدة عوامل فيزيائية ولذلك يمكن دراسة هذه العوامل عن طريق قياس معامل الامتصاص .

في حالة عمليات الاسترخاء الناشئة عن اللزوجة القصية للوسط (بمعنى ان المسبب لعمليات الامتصاص هي اللزوجة القصية) فيمكن إيجاد معامل الامتصاص بالعلاقة التالية : -

$$\alpha_s = 8\pi^2 f^2 \zeta_s / 3\rho V^3 \quad .... (8)$$

حيث إن (f) تردد الموجة فوق السمعية ، وان (ζ_s) اللزوجة القصية للوسط ، و (ρ) كثافة الوسط ، و (V) سرعة الموجات فوق السمعية في ذلك الوسط .

في حالة السوائل اللافلزية وبالأخص تلك التي تميل إلى الترابط والتي لها لزوجة معينة وجد بان معامل الامتصاص المقاس عملياً بالعلاقة (7) يمكن وصفه بشكل تقريبي بدلالة الامتصاص اللزوجي بالعلاقة (8) وبمضاعف عددي مقداره (3) تقريباً وفي حالات أخرى فان معامل الامتصاص المقاس عملياً بدلالة اللزوجة يختلفان عن بعضهما بعدة أضعاف مختلفة .

9.5 الكشف عن الموجات فوق الصوتية

مثلما مر سابقاً من إن فولتية متأوبة عبر الوجهين المتعاكسين للبلورة وبالعكس عند تسليط إجهاد ميكانيكي على البلورة باتجاه معين فان ذلك يؤدي إلى استجابة كهربائية المستلم المستعمل في اختبارات الموجات فوق السمعية هو عداد (Electro-Mechanical) بمعنى انه يحول الطاقة الميكانيكية المنتقلة بواسطة الموجات فوق الصوتية إلى طاقة كهربائية والنتيجة هو إنتاج فولتية حتى يمكن قياسها .

إن البلورات ذات الجهد الكهربائي ممكن استخدامها كباعثات أو مستلمات للموجات الفوق صوتية أي بمعنى ممكن استخدامها كعدادات أو كاشفات ذا وجهين . ويمكن الكشف عن الموجات فوق الصوتية بطرق أخرى محسوسة جداً فمثلا إذا غمرنا لوحاً متذبذباً في وعاء يحتوي على زيت فسوف نرى بان الذبذبات فوق السمعية تنتشر على سطح الزيت مكونة موجات يبلغ

ارتفاعها 10 cm. أما قطرات الزيت فسوف تقفز إلى إرتفاع 40 cm وإذا غمرنا في وعاء الزيت هذا طرف إنبوب زجاجي يبلغ طوله متراً واحداً لشعرنا بحرقة شديدة في اليد التي تمسك طرفه الثاني يترك أثراً على بشرة اليد والسبب في ذلك يعود إلى تحول طاقة الذبذبات فوق الصوتية إلى طاقة حرارية .

يمكن توليد الموجات فوق الصوتية بعدة طرق هي :

1 - **مولدات التأثير المغناطيسي.**

لقد اكتشف جول انه أمام مغنطة قضيب من مادة فيرومغناطيسية مثل النيكل زاد طولها بمقدار معين وان الزيادة الحاصلة في الطول تتناسب مع شدة المجال المغناطيسي فإذا تم لف سلك حول قضيب من مادة فيرومغناطيسية (ذات طول مناسب) ثم وصل طرفا الملف بمصدر للتيار المتناوب بحيث يكون تردد المصدر مساوياً لتردد الساق المعدنية (الناشئة عن خصائص المرونة وأبعاد الساق) فان هذا التيار سوف يحدث تتابعات في مغنطة القضيب وإزالة المغنطة منه ، وبذلك فان هذا يؤدي إلى حصول حالات تقلص وانبساط في طوله بتردد يساوي تردد المصدر المتناوب ، تحدث هذه التقلصات والاستطالات المتتابعة تخلخلات وتضاغطات متتابعة في الوسط تنقل على شكل موجات صوتية .

وباختصار طول مناسب للقضيب يمكن جعله يهتز بتردد مكافئ للترددات الفوق سمعية وبذلك يمكن توليد موجات فوق سمعية بهذا الإسلوب . الشكل التالي يبين جهاز توليد الموجات فوق السمعية المبني على أساس توليد المجال المغناطيسي حيث يمثل (AB) قضيب من النيكل ، يمثل الملف C ملف تيار الشبكة للصمام المذبذب (صمام ثلاثي) والملف D يمثل ملف تيار الآنود فان هذا يؤدي إلى زيادة في طول القضيب والذي يؤدي بالتالي إلى حصول تغير في الفيض المغناطيسي المحيط بالملف (C) وهذا يؤدي إلى توليد فرق جهد محتث بسبب تغير جهد الشبكة . وبالتالي تغير تيار الآنود بحيث يؤدي هذا التغير إلى الحفاظ على

استمرارية تذبذب القضيب ويمكن حساب التردد (F) الذي يهتز به القضيب بالعلاقة التالية :

$$F = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

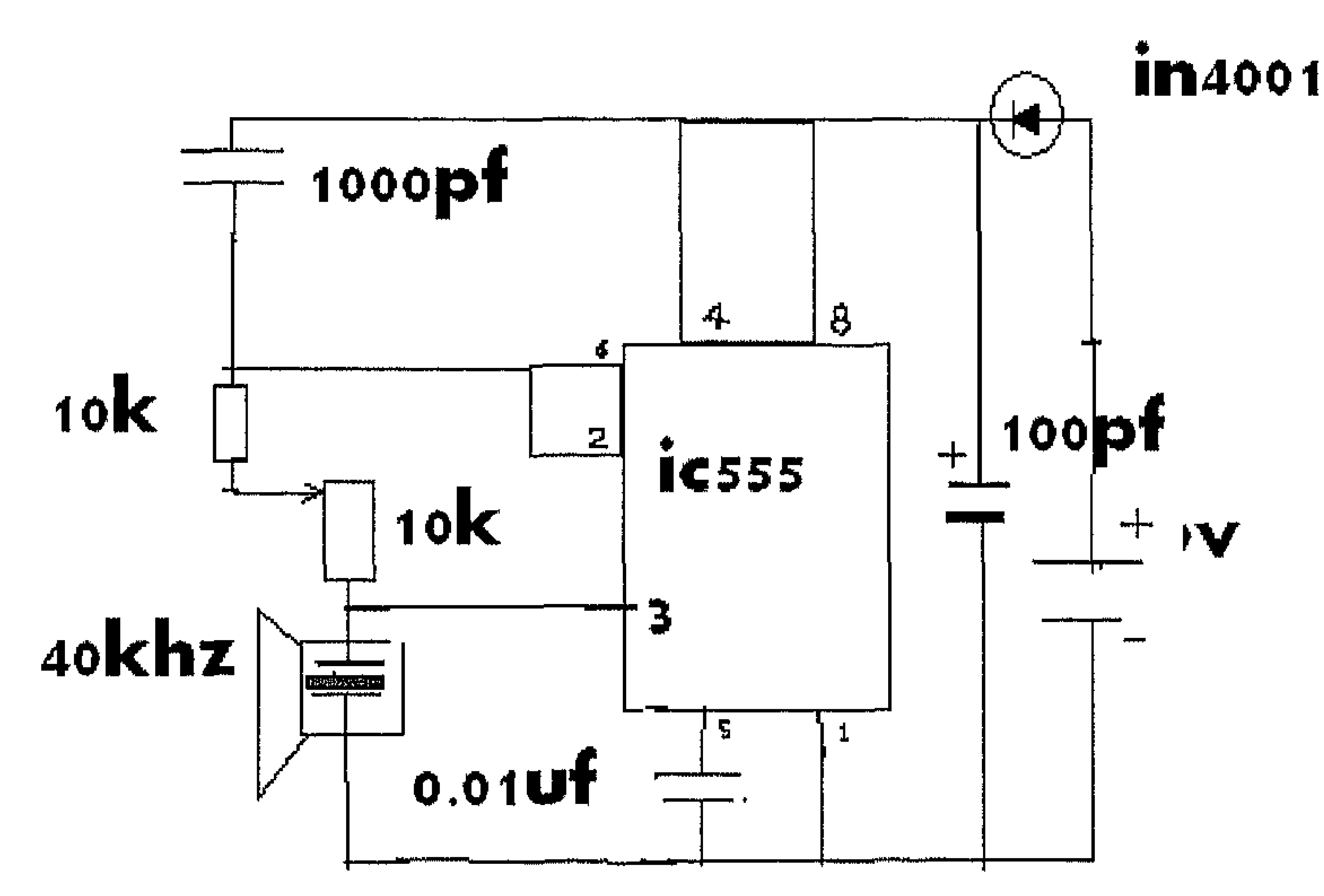
حيث :

L= طول القضيب .

Y= معامل يونك للمرونة .

ρ= كثافة المادة .

وبتغير طول القضيب يمكن الحصول على ترددات مختلفة للموجات الناتجة وتستخدم هذه الطريقة لتوليد الموجات فوق السمعية ذات الترددات الواطئة ولتوليد موجات ذات تردد أعلى تستخدم مواد بلورية معينة تعرف بالمواد البزوكهربائية (Piezoelectric) .



شكل (1) : يوضح جهاز توليد الموجات فوق الصوتية

2 - التأثير الكهرومغناطيسي على بلورة الكوارتز من نوع(البزوكهربائية).

هذا النوع من المذبذبات يعتمد في أساس عمله على خصائص البلورات البزوكهربائية فعند تسليط إجهاد ميكانيكي على بعض البلورات فان هذا يؤدي إلى زحزحة الايونات الموجبة والسالبة في المادة وبذلك يتم شحن أحد أوجهها بشحنة موجبة والوجه الآخر بشحنة سالبة . ويمكن حصول عكس هذه الظاهرة أيضاً فعند تسليط مجال كهربائي على هذه المواد فان الاستقطاب الذي يحدث بين حزمة الشحنات يؤدي إلى إجهاد ميكانيكي في المادة . ومن هذا نستنتج بأن ظاهرة (البزوكهربائية) هي ظاهرة حصول الاستقطاب الكهربائي بفعل إجهاد ميكانيكي وحدوث إجهاد ميكانيكي بفعل استقطاب كهربائي فأعداد البزوكهربائية تستخدم كمحول للإشارة الميكانيكية إلى كهربائية وبالعكس وان العلاقة التي تربط المجال الكهربائي بالإجهاد الميكانيكي علاقة خطية .

إن أهمية المواد البزوكهربائية تظهر في تطبيقات المجال المتناوب فعند تسليط مجال متناوب عبر البلورة فان سمك البلورة يزداد وينقص تبعاً لتغير المجال الكهربائي وعند تردد معين يمكن أن يحدث إهتزاز رنيني في البلورة وهذا التردد لبلورة سمكها X هو :

$$F = \frac{V}{2X} = \frac{1}{2X}\sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

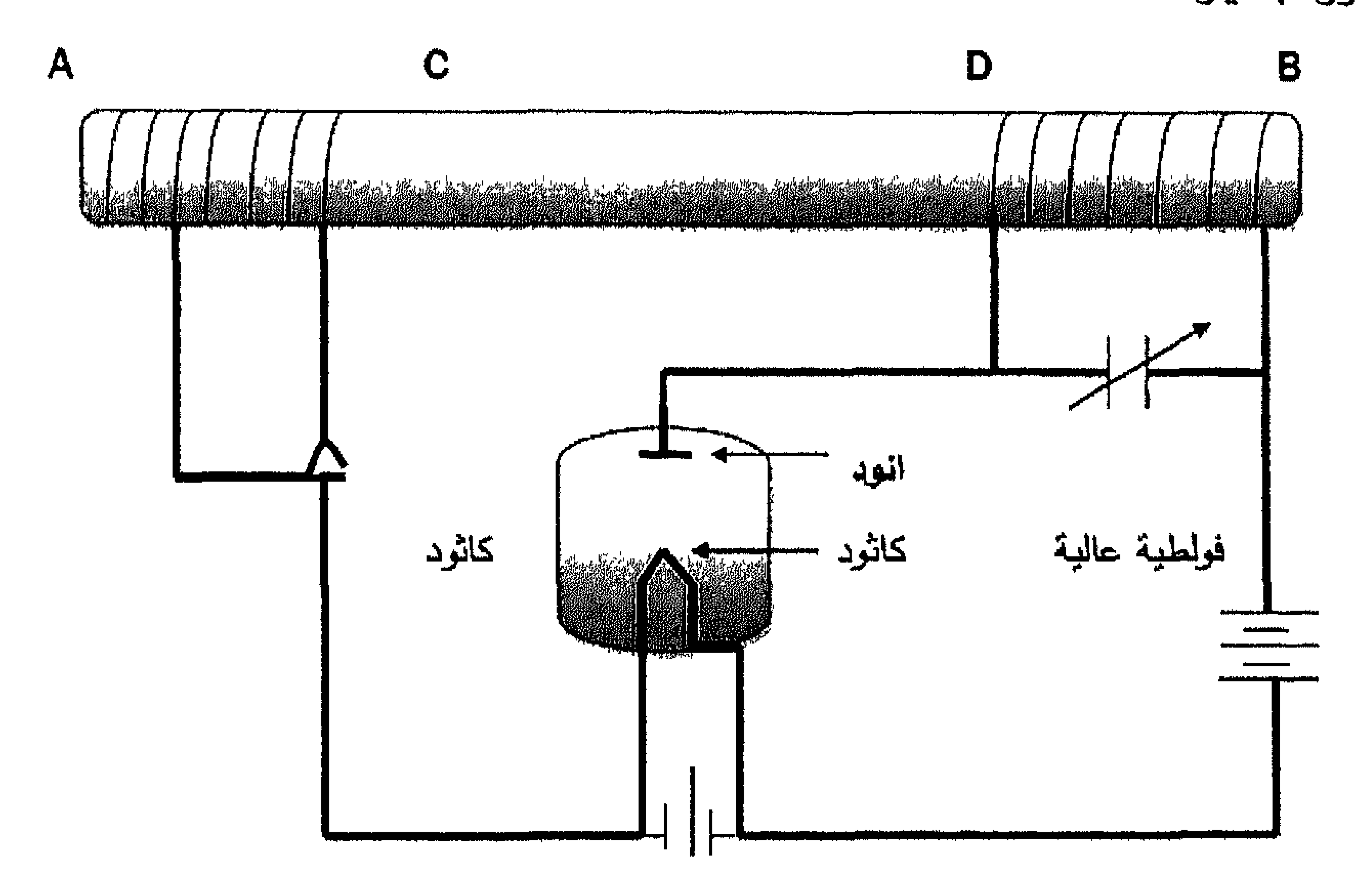
حيث:

V = سرعة الضوء .

ρ= كثافة البلورة .

فإذا أخذت شريحة من بلورة (بزوكهربائية) بسمك مناسب يعطى تردداً طبيعياً أساسياً لها يقع ضمن منطقة الترددات فوق السمعية وغطينا كلا من سطحيها بقطعة معدنية ووصلنا السطحين بدائرة كهربائية متساوية بحيث

يكون تردد الدائرة مساوياً للتردد الطبيعي لشريحة البلورة فإنها سوف تهتز نتيجة حصول حالة الرنين وبذلك ستتولد موجات فوق السمعية ذات شدة تتوقف على قدرة الدائرة التذبذبية تنتشر على شكل حزمة ضيقة وبتردد مساوي لتردد تيار الدائرة المتناوب أدناه حيث يبين المخطط دائرة كهربائية تذبذبية بسيطة لتوليد الموجات فوق السمعية فلقد تم توصيل دائرة البلورة إلى الصمام الثلاثي حيث إن الاهتزازات الحاصلة في البلورة تؤدي إلى التحكم في تغذية دائرة الشبكة ويقوم الصمام الثلاثي بتكبير الإشارات الناتجة وإعادتها إلى دائرة البلورة وتمتاز هذه الطريقة بأنه في الإمكان تغير مدة الذبذبة للتيار المتناوب المار بالبلورة بتغير سعة المتسعة .



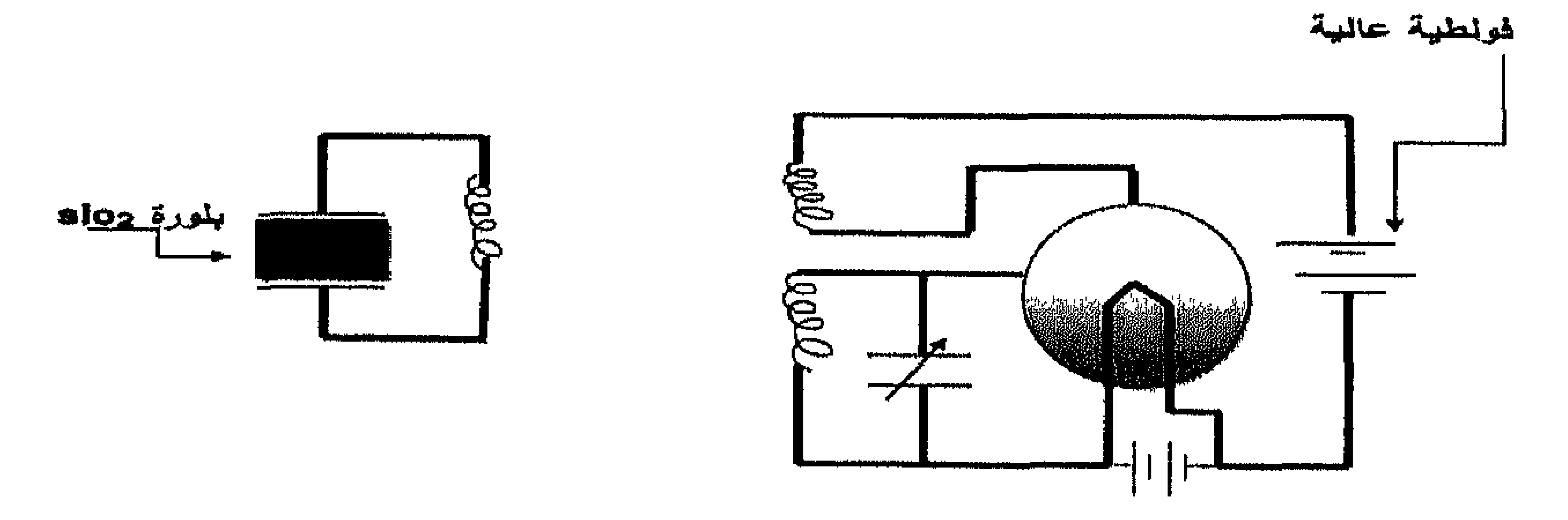
شكل (12): يوضح جهاز توليد الموجات فوق الصوتية.

ميكانيكي وحدوث اجهاد ميكانيكي بفعل استقطاب كهربائي فاعداد البزوكهربائية تستخدم كمحول للاشارة الميكانيكية إلى كهربائية وبالعكس وان العلاقة التي تربط المجال الكهربائي بالاجهاد الميكانيكي علاقة خطية.

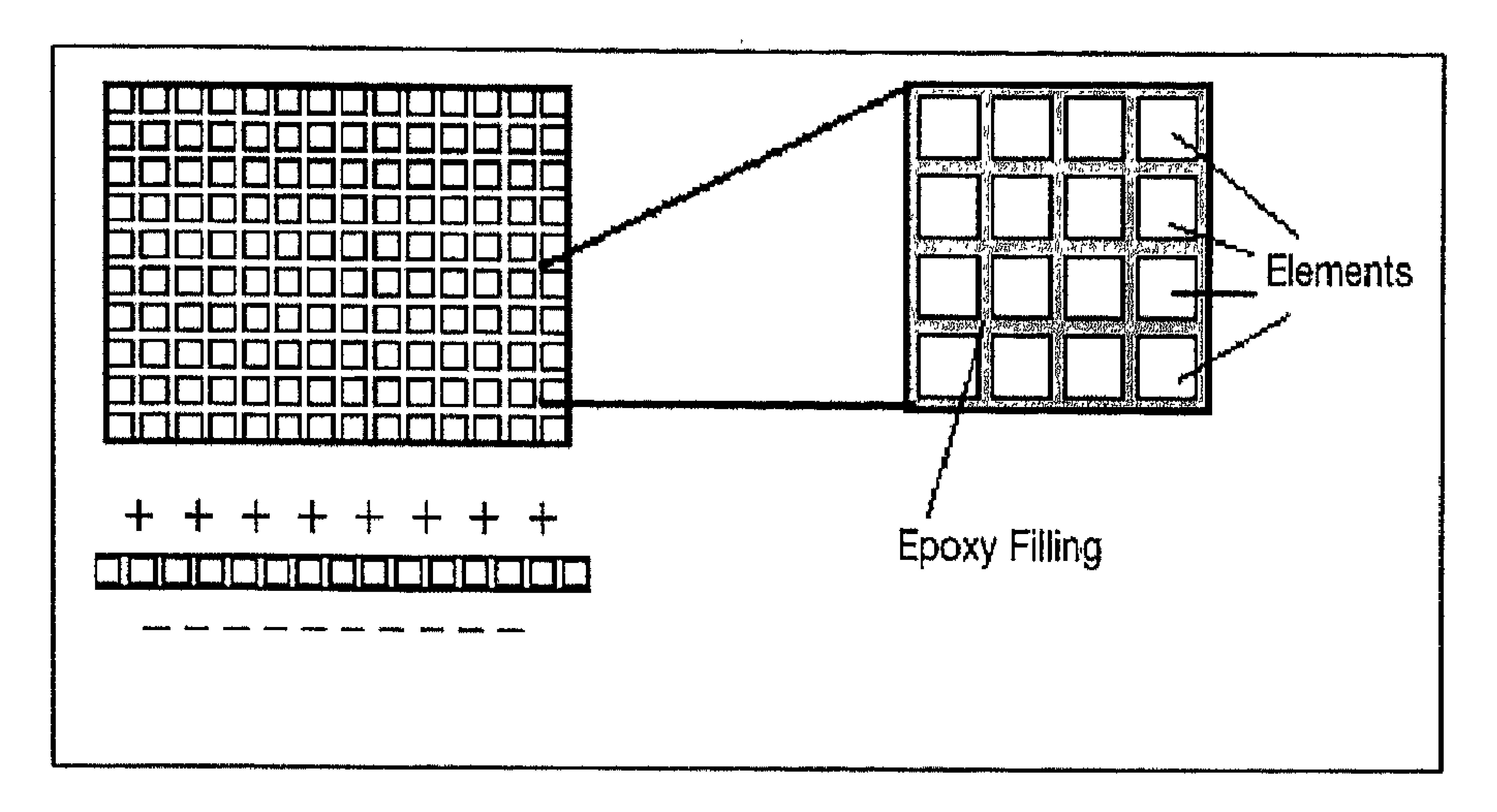
ان اهمية المواد البزوكهربائية تظهر في تطبيقات المجال المتناوب فعند تسليط مجال متناوب عبر البلورة فان سمك البلورة يزداد وينقص تبعاً لتغير المجال الكهربائي وعند تردد معين يمكن أن يحدث اهتزاز رنيني في البلورة وهذا التردد لبلورة سمكها (X) هو:

$$F = \frac{V}{2X} = \frac{1}{2X}\sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

حيث V = سرعة الضوء، P = كثافة البلورة فاذا اخذت شريحة من بلورة (بزوكهربائية) بسمك مناسب يعطى ترددا طبيعياً أساسياً لها يقع ضمن منطقة الترددات فوق السمعية وغطينا كلا من سطحيها بقطعة معدنية ووصلنا السطحين بدائرة كهربائية متساوية بحيث يكون تردد الدائرة مساوياً للتردد الطبيعي لشريحة البلورة فانها سوف تهتز نتيجة حصول حالة الرنين وبذلك ستتولد موجات فوق السمعية ذات شدة تتوقف على قدرة الدائرة التذبذبية تنتشر على شكل حزمة ضيقة وبتردد مساوي لتردد تيار الدائرة المتناوب ادناه حيث يبين المخطط دائرة كهربائية تذبذبية بسيطة لتوليد الموجات فوق السمعية فلقد تم توصيل دائرة البلورة إلى الصمام الثلاثي حيث ان الاهتزازات الحاصلة في البلورة تؤدي إلى التحكم في تغذية دائرة الشبكة ويقوم الصمام الثلاثي بتكبير الاشارات الناتجة واعادتها إلى دائرة البلورة وتمتاز هذه الطريقة بانه في الامكان تغير مدة الذبذبة للتيار المتناوب المار بالبلورة بتغير سعة المتسعة.



شكل (13): يوضح التأثير الكهرومغناطيسي بلورة الكوارتز

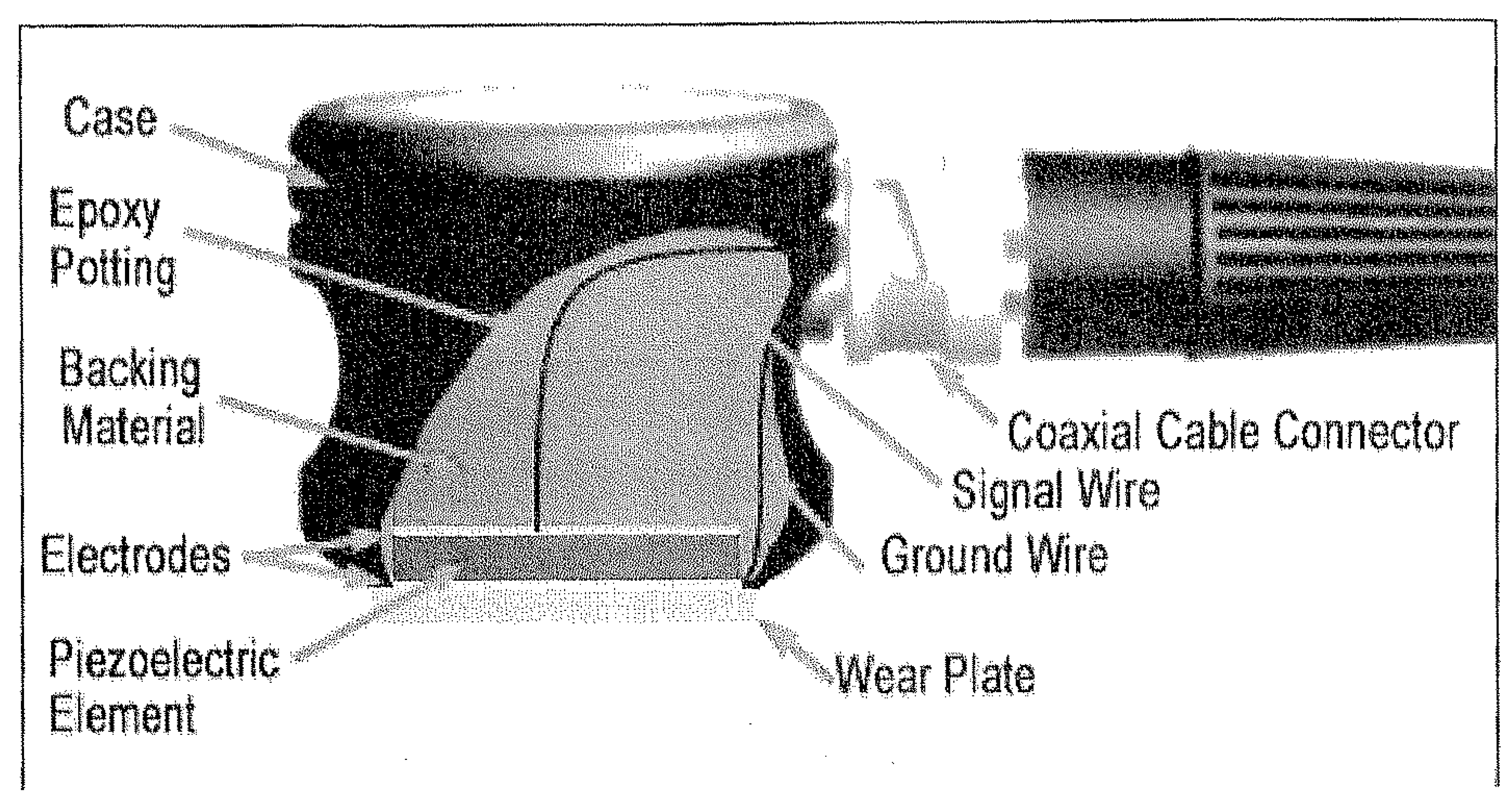


شكل (14): يوضح بلورة الكوارتز بشكل تفصيلي

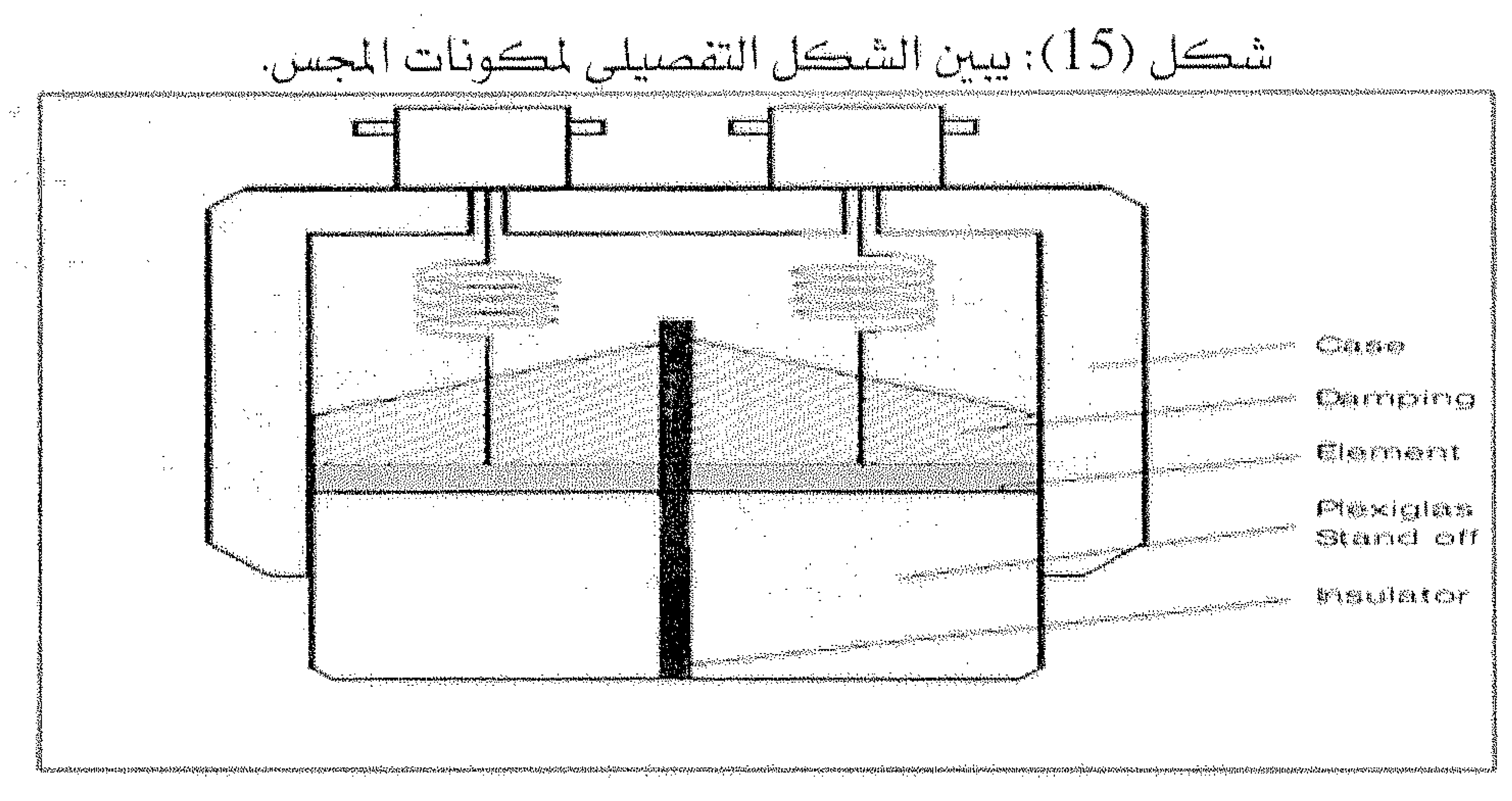
10.5 المجسات ومكوناتها

وهي جهاز يحول الطاقة الكهربائية الى اهتزازات ميكانيكية وبالتالي الى موجات صوتية وذلك عن طريق ظاهرة piezoelectric. وقد يكون المجس نفسه يرسل ويستقبل الطاقة او يتم استخدام مجسين احدهما يسمى المرسل الذي يستخدم في تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية صوتية وارسالها خلال المادة والاخر يسمى المستقبل الذي يعيد تحويل الطاقة الصوتية الى طاقة كهربائية مرة اخرى بعد نفاذها او انعكاسها من المادة. وعادة يتم بيان هذه الطاقة الكهربائية على شاشة كاشف الاشارات الكهربائية لتحليلها ودراستها من حيث الموقع والشدة. وتوضع بعض السوائل مثل (الماء او انواع خاصة من الزيوت) بين مولد الطاقة المرسل والمستقبل وسطح الجزء تحت الفحص لتقليل الاحتكاك وتحسين ارسال و استقبال الموجات فوق الصوتية بدون هدر كبير في الطاقة. اما مكوناتها فتتكون من بلورة piezoelectric المرتبطة بسلك من الاعلى والاسفل لانها محاطة بطبقة رقيقة من الفضة (لان الفضة مادة موصلة ومانعة للتأكسد وتوضع فوقها مادة مقاومة للصدمات damping وتغلفها مادة بوليميرية من الايبوكسي تسمح للموجة بالانتقال ولاتسمح للبلورة بالحركة وبعدها يرتبط

السلك بالسويش وينقله الى مولد الذبذبات ويمتلك ايضا صفيحة بلى توضع على السطح السفلي لحماية البلورة من الاحتكاك بسطح جسم الاختباركما مبين بالشكل (16) :



شكل (15): يبين الشكل التفصيلى لمكونات المجس.



شكل (16): يوضح المجس ثنائي البلورة

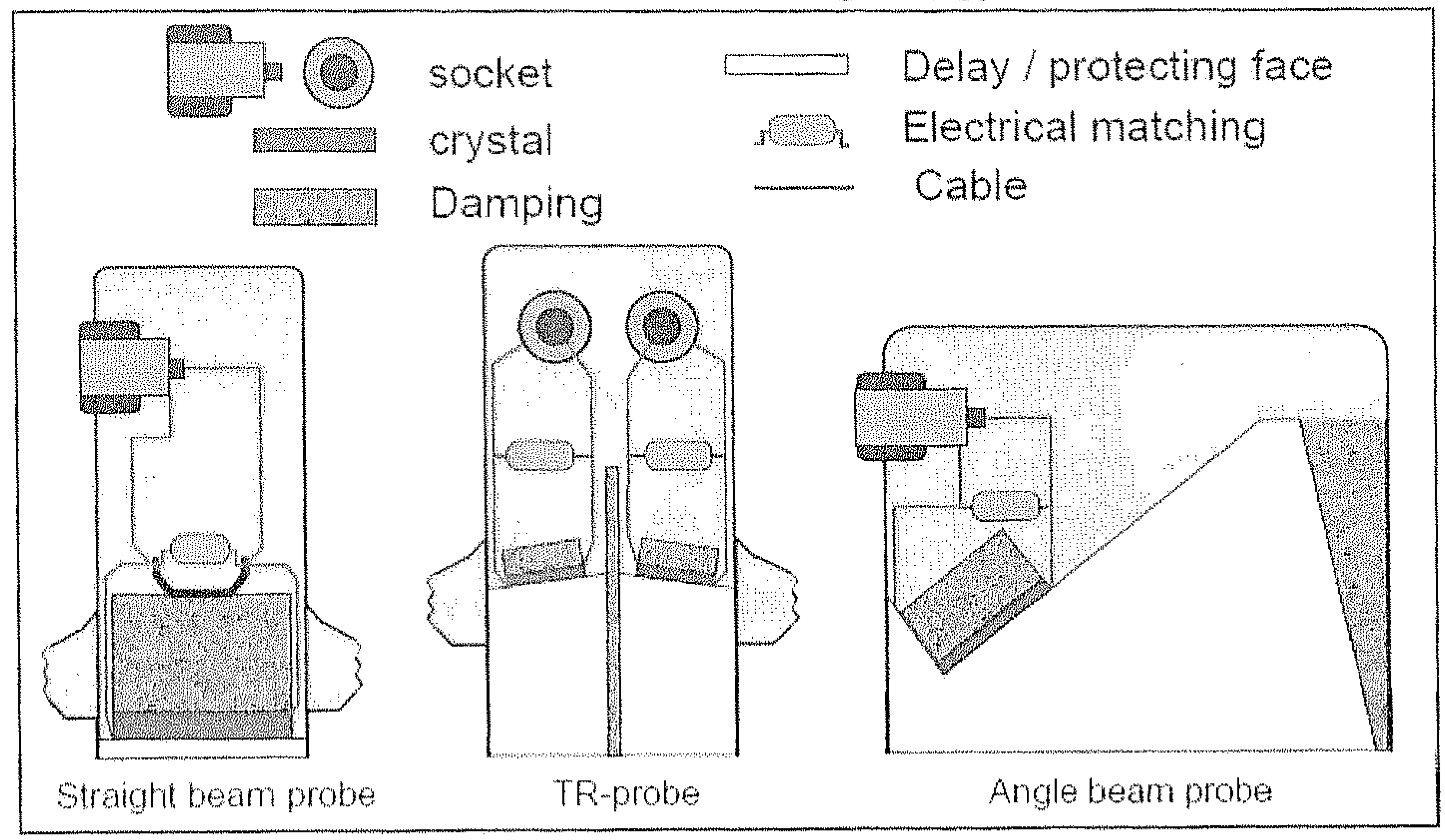
وتنقسم المجسات الى اربعة انواع رئيسية :

1. المجسات الاعتيادية (Normal Probes).

2. المجسات التوأمية (Twin Probes).

3. المجسات ذات الزوايا (Angle Probes).

4. المجسات ذات الزوايا التوأمية (Twin angle Probes).



شكل (17): يوضح الشكل التفصيلي لأنواع المجسات

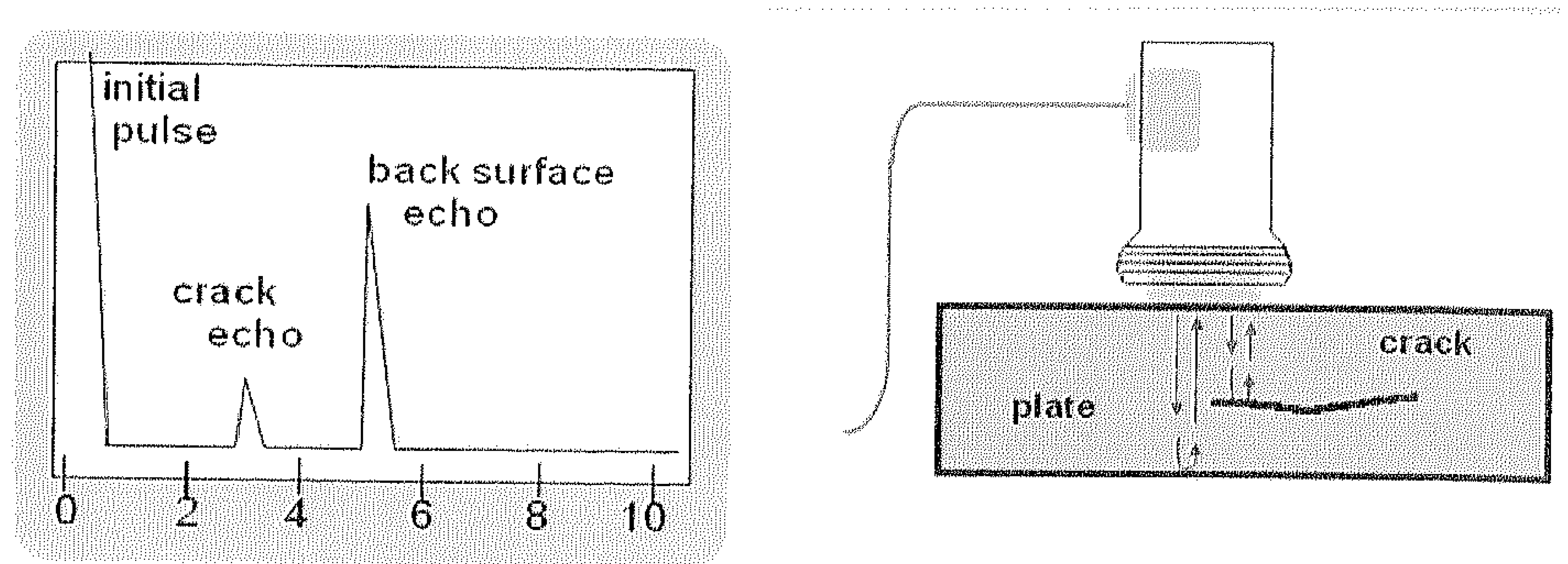


11.5 تقنيات الفحص

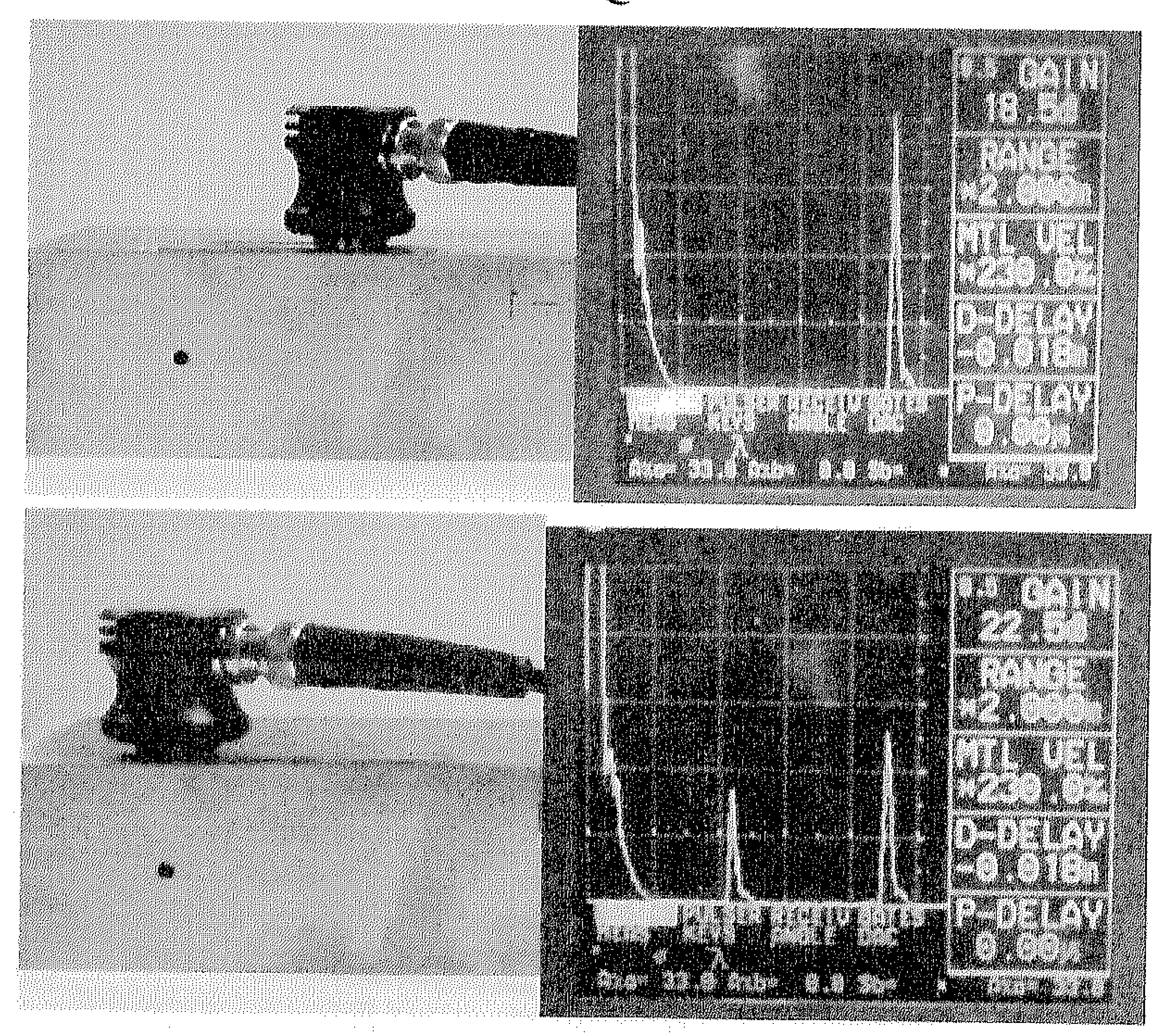
وتتقسم الى ثلاثة انواع : -

1. Pulse-echo and Through Transmission

في هذه التقنية اي Pulse-echo يرسل المجس نبضة من الطاقة ونفس المجس او مجس أخر يستلم النبضة المعكوسة (echo). وتسمح هذه التقنية باجراء الاختبار عندما يكون من الممكن الوصول الى جانب واحد فقط من العينة. والانعكاسات تحدث بسبب وجود الثقوب أو عيب بالسطح، كما مبينة بالاشكال ادناه:

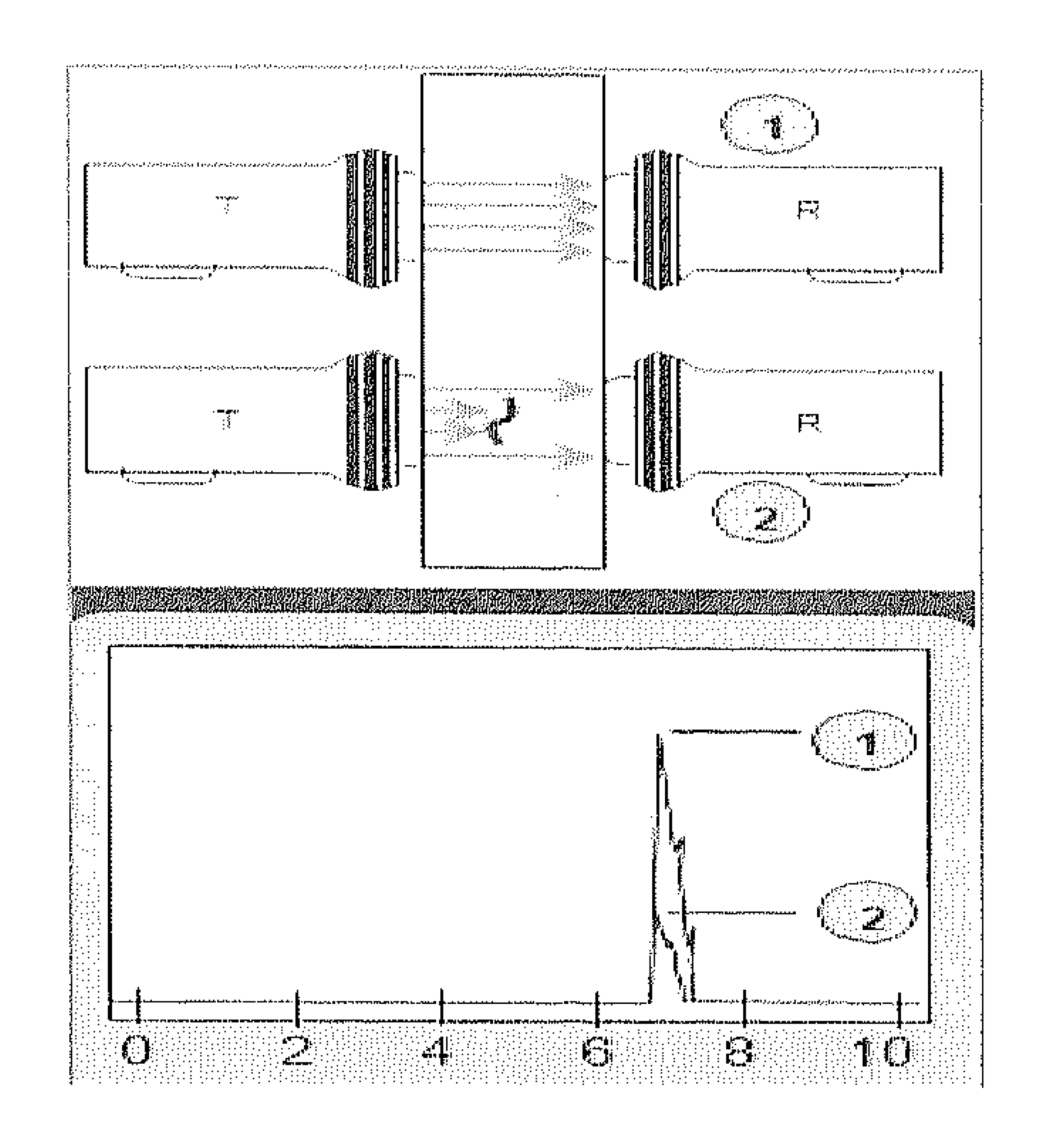


شكل (18): يوضح تقنية ال pulse-echo.



شكل (19): يوضح طريقة الفحص بالمجس بتقنية الpulse-echo.

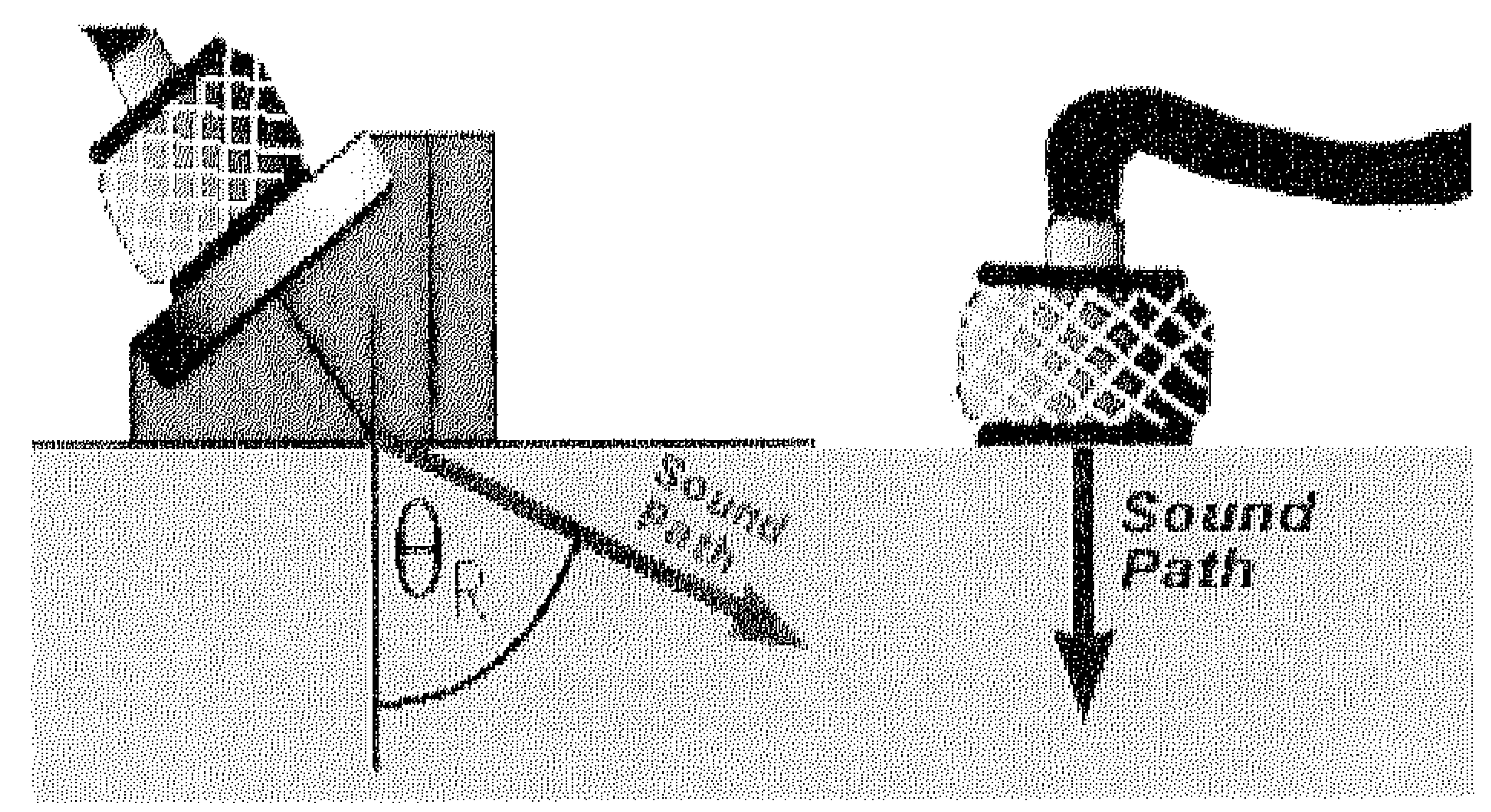
اما في تقنية (Through transmission) يتم استخدم مجسين موضعين على جانبي الجزء المراد فحصه فعند وجود الشقوق في مسار الصوت سوف ينتج عنه خسارة كلية او جزئيه بالصوت النافذ يمكن ملاحظته بمقدار الإشارة المستلمة وتستعمل للكشف عن الشقوق التي لاتكون عاكسة جيدة ولاتوفر اي معلومات عن عمق الشق كما مبين بالشكل ادناه:



شكل (20): يوضح تقنية ال through transmission

2. Normal and angle beam

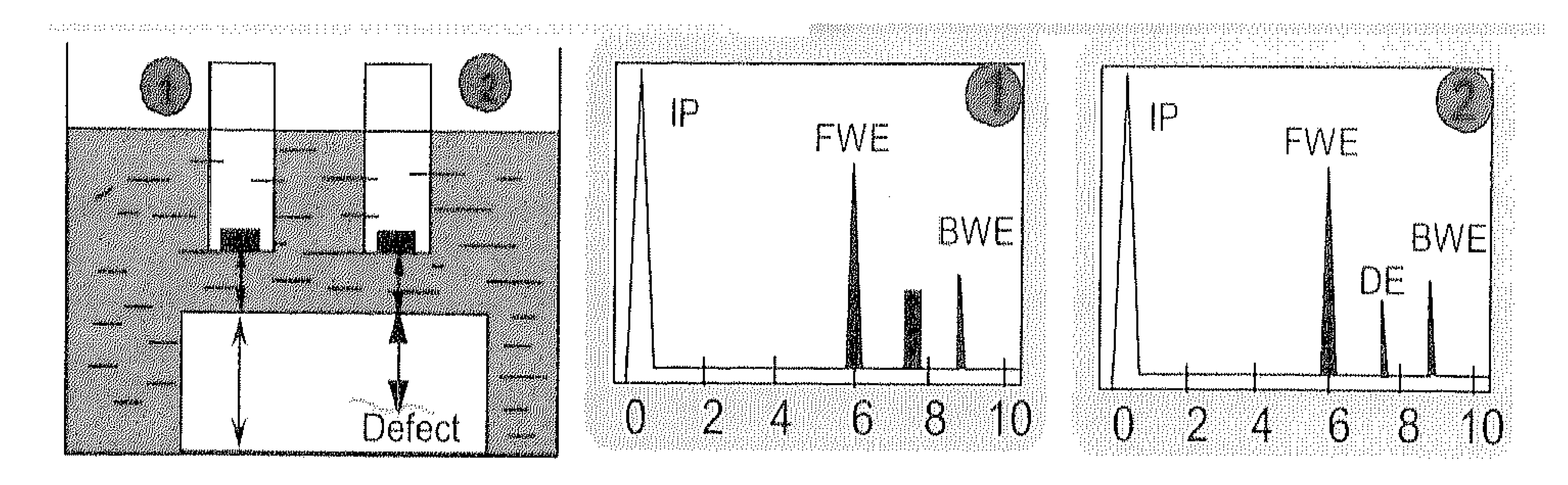
في هذه التقنية تسلط الحزمة الصوتية على عينة الاختبار بدرجة 90 الى السطح. اما في (Angle Beam) الحزمة الصوتية تسلط بشكل مائل. كما مبين في الشكل ادناه: -



شكل (21): يوضح المجس ذات الزاويا.

3. Contact Vs Immersion

في هذه التقنية يتم التخلص من الهواء الموجود بين المجس وعينة الاختبار باستخدام الزيوت او الماء. كما مبين في الشكل ادناه: -



شكل (22): يوضح تقنية ال contact Vs immersion.

12.5 تطبيقات الموجات فوق الصوتية في التكنلوجيا

تستخدم الأمواج فوق الصوتية بصورة خاصة في صناعة الميتالورجي وذلك لاكتشاف عدم التجانس والفجوات الغازية وغيرها من العيوب الموجودة في داخل القطعة المنتجة. ان طريقة الفحص للمعدن بواسطة الذبذبات فوق الصوتية تتلخص في غمر المعدن المرد فحصه بالزيت وتعريضه لتأثير الذبذبات فوق الصوتية.

إذ ان الأقسام غير المتجانسة عن القطع المعدنية تشتت الصوت على هيئة ما يسمى (ظل الصوت) والذي يظهر بصورة واضحة مجسمة على التموجات المنتظمة لطبقة الزيت المحيط بالقطعة المعدنية بحيث يمكن تطويرها تماماً.

فأن هذه الطريقة اقترحت لاول مرة عام 1928 من قبل العالم الروسي سوكولوف وفي الوقت الحاضر تستخدم أجهزة استقبال خاصة للذبذبات فوق الصوتية تعوض عن استخدام الزيت وتعطي هذه الأجهزة قياسات ابسط وادق وسنقوم بذكرها في فقرة تحديد العيوب.

وبواسطة الذبذبات فوق الصوتية نستطيع ان نفحص قطعة معدنية يبلغ سمكها متراً واحداً أو اكثر وهو عمق لا يمكن لاشعة اكس ان تصله وبذلك تكتشف العيوب الدقيقة للغاية (إلى حد 1mm) ولاشك أن الذبذبات فوق الصوتية ستستخدم في المستقبل على نطاق واسع جداً.

كشف التصدعات او العيوب بأستخدام الموجات فوق الصوتية: -كيفية تحديد العيب في المادة: -

1 -كشف العيب (detection of reflectors).

2 -تحديد موقع العيب(location of reflectors).

3 -تضمين العيب (evaluation of reflectors).

4 -تحديد نوع العيب واتجاهاته(diagnosis of reflectors(reflector (type, orientation)

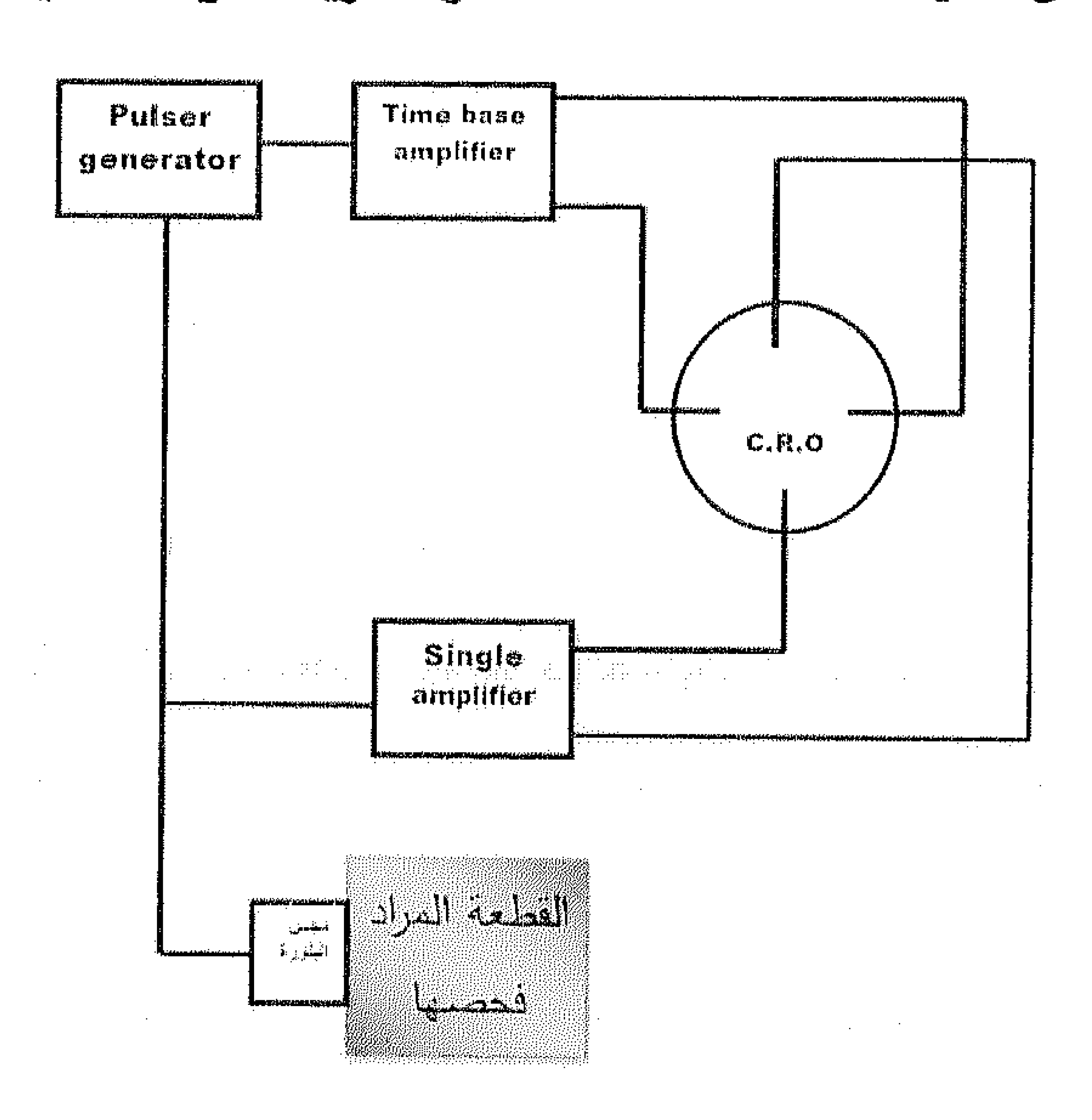
حزمة من الامواج الفوق الصوتية ادخلت أو استخدمت لكشف عن الناتج من أي مادة تحت الاختبار بواسطة الاتصال المباشر بين مجس البلورة أو الناتج يجب وضع طبقة رقيقة من الدهن بين مجس البلورة والناتج للتخلص من وجود أي فجوة بينهما حتى لو كان سمكها 10-3mm لان وجود الهواء يؤدي إلى انعكاس كلي في القياس يجب أن لا يكون هنالك صدأ في مجس البلورة أو وجود مواد غريبة فلذلك يجب ازالتها:

وكشف العيوب يتم بطريقتين:

- طريقة الانعكاس أو عكس النبضة.
- طريقة الارسال.
- طريقة انعكاس النبضة: إلى حد بعيد هي الطريقة الشائعة والمستخدمة ويتلخص هذا التكتيك بأن نبضة من الأمواج الفوق الصوتية تدخل إلى المركب المراد فحصه فالوقت الذي يستغرقه لارسال الاشارة ورجوع اشارة الصدى المنعكس من الجدار الخلفي لمركب أو من بعض العيوب الوسطية سوف يتم قياسه. ان هذا الوقت لبعض المواد يتناسب مع طول طريقة الموجة، وبهذا فان الوقت أو الزمن اصبحت له علاقة مع المسافة هذه الطريقة لها فوائد ذلك ان المسافة من لحظة الارسال والاستلام

ممكـــن قياســها بصــورة دقيقــة وكــذلك ممكـــن قيــاس أو اجــراء القياسات لوجه واحد من المركب المراد اختباره. ان هذه العملية ممكن انجازها باستخدام مذبذب للاشعة الكاثودية.

دقيقة ومضبوطة وكذلك ممكن قياس أو اجراء القياسات لوجه واحد من المركب المراد اختباره، ان هذه العملية ممكن انجازها باستخدام مذبذب للعشة الكاثودية cathode – ray oseilloscope وهذا الجهاز ممكن معياريته بصورة مباشرة لوحدة الطول والمسافة من سطح المركب الملامس للمجس إلى العيب او التشوه ممكن قرائته وقياسه بالمليتر. وكذلك ممكن استخدام كاميرا لتسجيل المسار على (cathode oseillscope) والطريقة موضحة في الشكل ادناه.



شكل (23): يوضح طريقة انعكاس النبضة.

المجس تم توصيله إلى مضخم الذي يضخم الاشارة قبل ان يتم عرضها على (C.R.O) في المواد التي تكون خالية من الشوائب فان التذبذبات تمر من خلال المجس وبدون أي اعاقة إلى المادة المعدبية حتى تنعكس من السطح في (S) حتى تعود مرة اخرى إلى المجس والذي يكون فعله كمستقبل. كلا النبضتين المرسلة

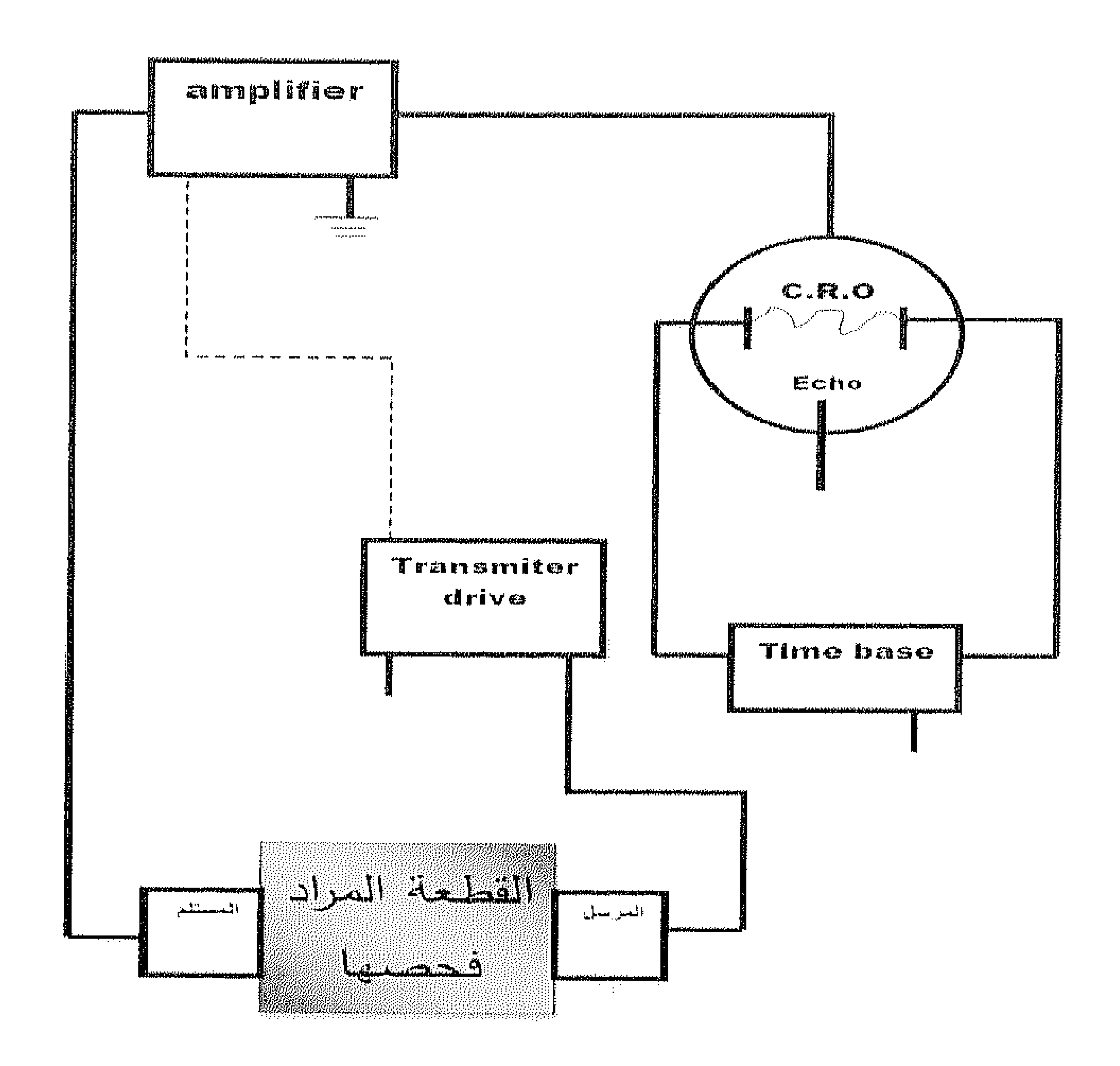
وصداها سوف يسجل على (C.R.O) والمسافة (D) بين الصورتين تتناسب مع سمك المادة T التي يجري عليها الاختبار، فاذا كان هناك أي عيب مثل فجوة في (C)، في هذه الحالة النبضة تتقطع وتنعكس كما مبين في الشكل ادناه بسبب رجوع الصدى إلى المستلم بوقت اقصر فسوف تظهر صورة وسطية على شاشة (C.R.O) وان موقعها يسبق الاخرى (أي من السطح الثاني) ويعطي مسافة العيب أو التشوه تحت السطح. وتكون اقل شدة بسبب امتصاص جزء منها من قبل العيب أو التشوه.

وان التركيب الرديء أو الخشن يؤدي إلى استطارة او تشتت طاقة الموجات الفوق صوتية مما يؤدي أو لربما إلى نشوء مشكلة في الاختبار من التركيب المتجانس أو الدقيق.

ان اهم اختلاف بالنسبة إلى التكتيك عكس النبضة هي طريقة الغمر وذلك باستخدام الماء كوسط مزدوج. المادة المراد اختبارها توضع في حوض من الماء والمجس يحرك ذهابا وإيابا في الماء فوق المادة. هذه الطريقة ممكن استخدامها للتصوير التلقائي إلى صفائح كبيرة للكشف عن هذه الصفائح.

❖ طريقة الارسال: يستخدم في هذه الطريقة حزمة مستمرة من الامواج فوق الصوتية.

وهناك مجسين. واحد يكون للارسال والثاني للاستقبال وبوضعين في اتجاهين متعاكسين للمركب المراد فحصه والحزمة الصوتية تمر من واحد إلى الاخر كما في الشكل التالي:



شكل (24): يوضح طريقة الارسال.

فنلاحظ ظهور قيمتني في (C.R.O) القيمة المتكونة على اليسار تمثل قيمه الارسال والثانية التي على اليمين قيمة شدة الحزمة التي تصل إلى المستلم فاذا كانت اعادة مثالية للصوت فسوف تكون القيمتين متساويتين في الارتفاع 10m في حالة وجود شوائب فان القيمة التي على اليمين سيكون ارتفاعها اقل من التي على اليسار ويرطع السبب ذلك إلى سطحين المركب متوازين ولذلك سوف تكون المجاست متوازية.

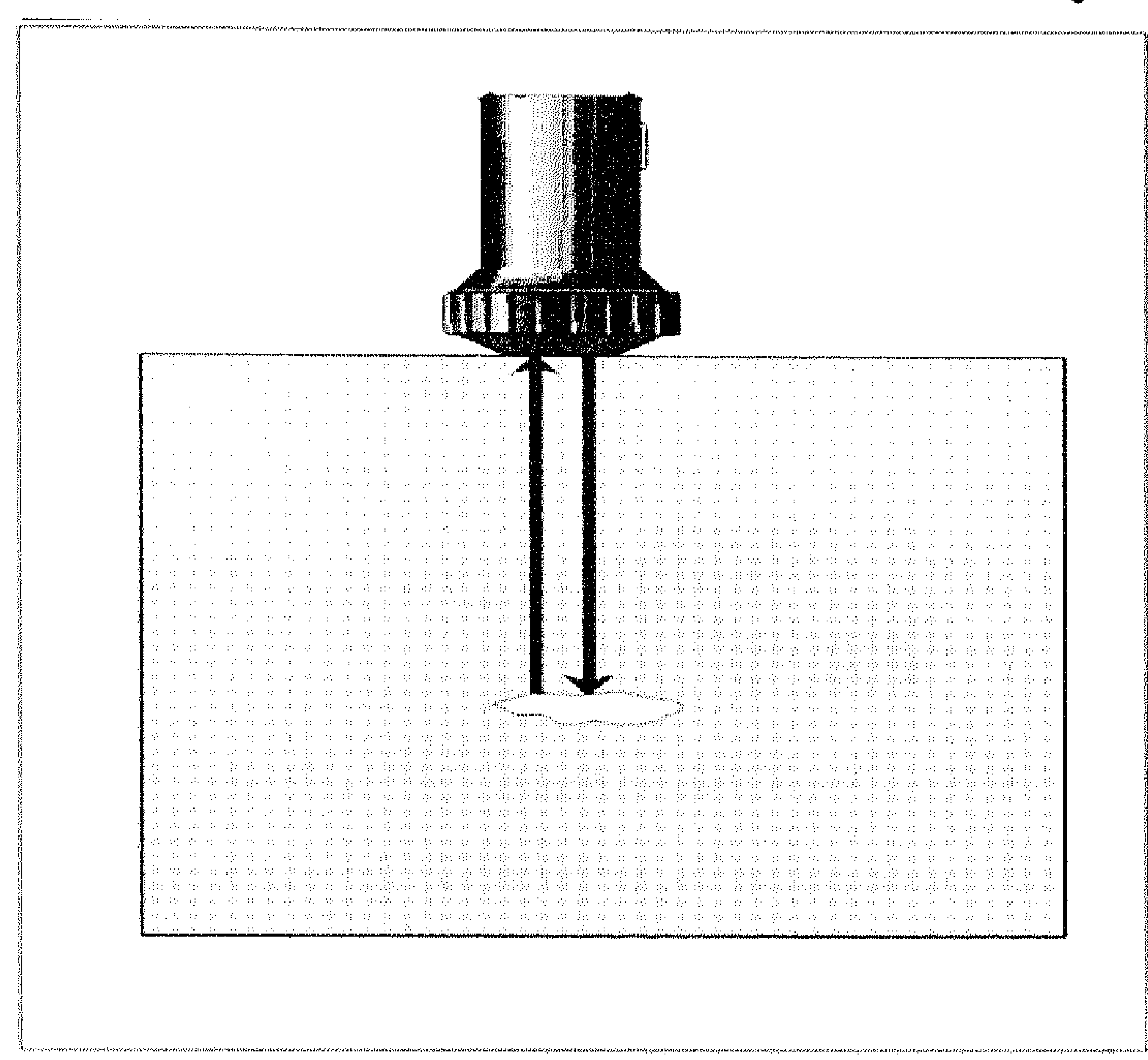
أما في حالة وجود زاوية فيهم فان ذلك يؤدي إلى انكسار وانعكاس وعليه فان طريقة عكس النبضة هي المفضلة ويرجع ذلك إلى الاسباب التالية:

1) نحتاج إلى جهاز مفرد نفسه مرسل ومستلم.

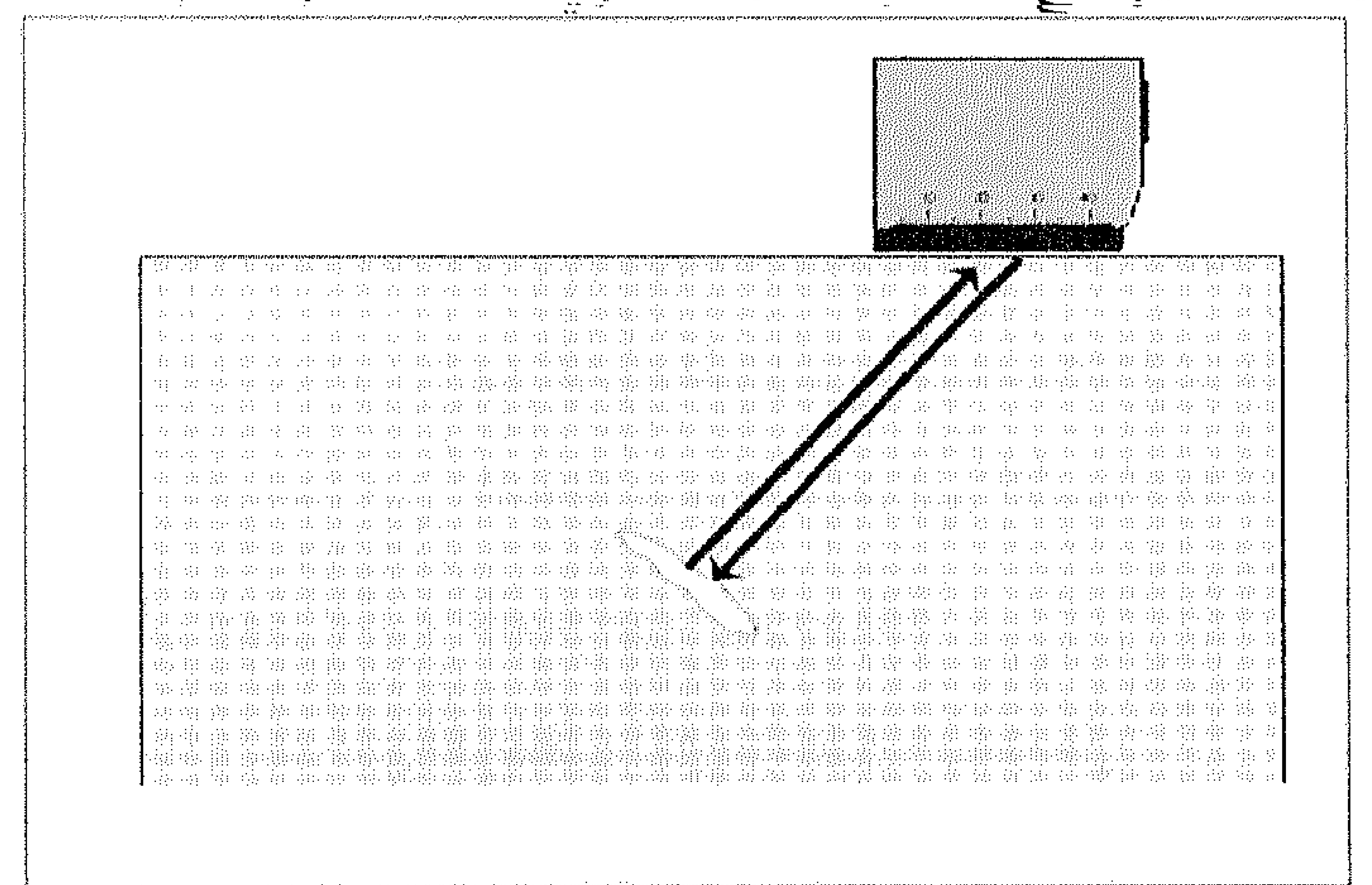
2) فقط وجه واحد من المركب المارد اختباره يستعمل.

3) لا يحتاج ان يكون الجذر الخلفي للمركب ان يكون موازي إلى الوجه الامامي.

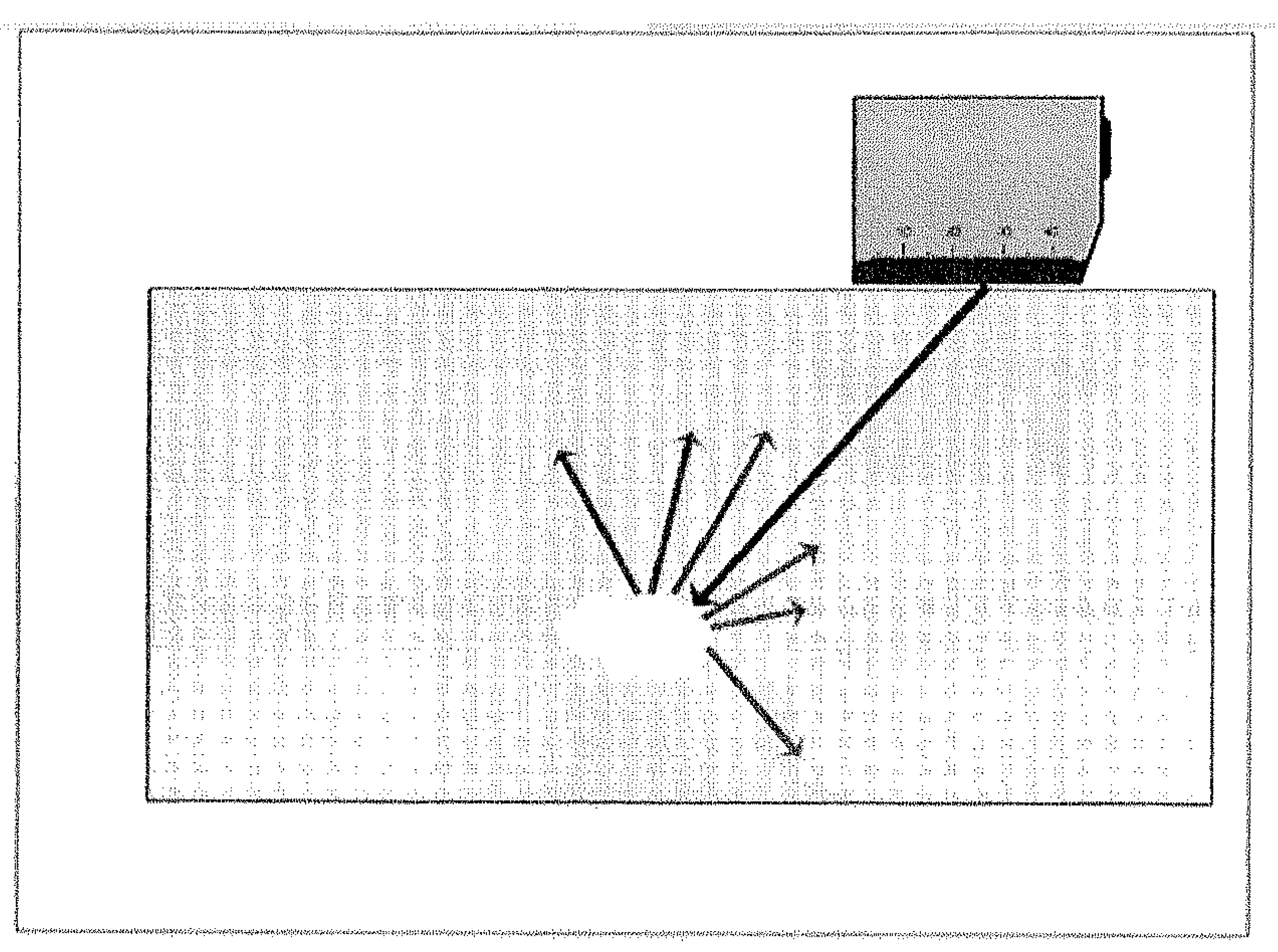
وبالاستطاعة فحص صفيحة من الفولاذ (Steel) أو قضيب مسطح من سمك (15 mm – 30 mm) اذا كان فيها تشقق او تصدمات او اجزاء مصابة يمكن كشفها.



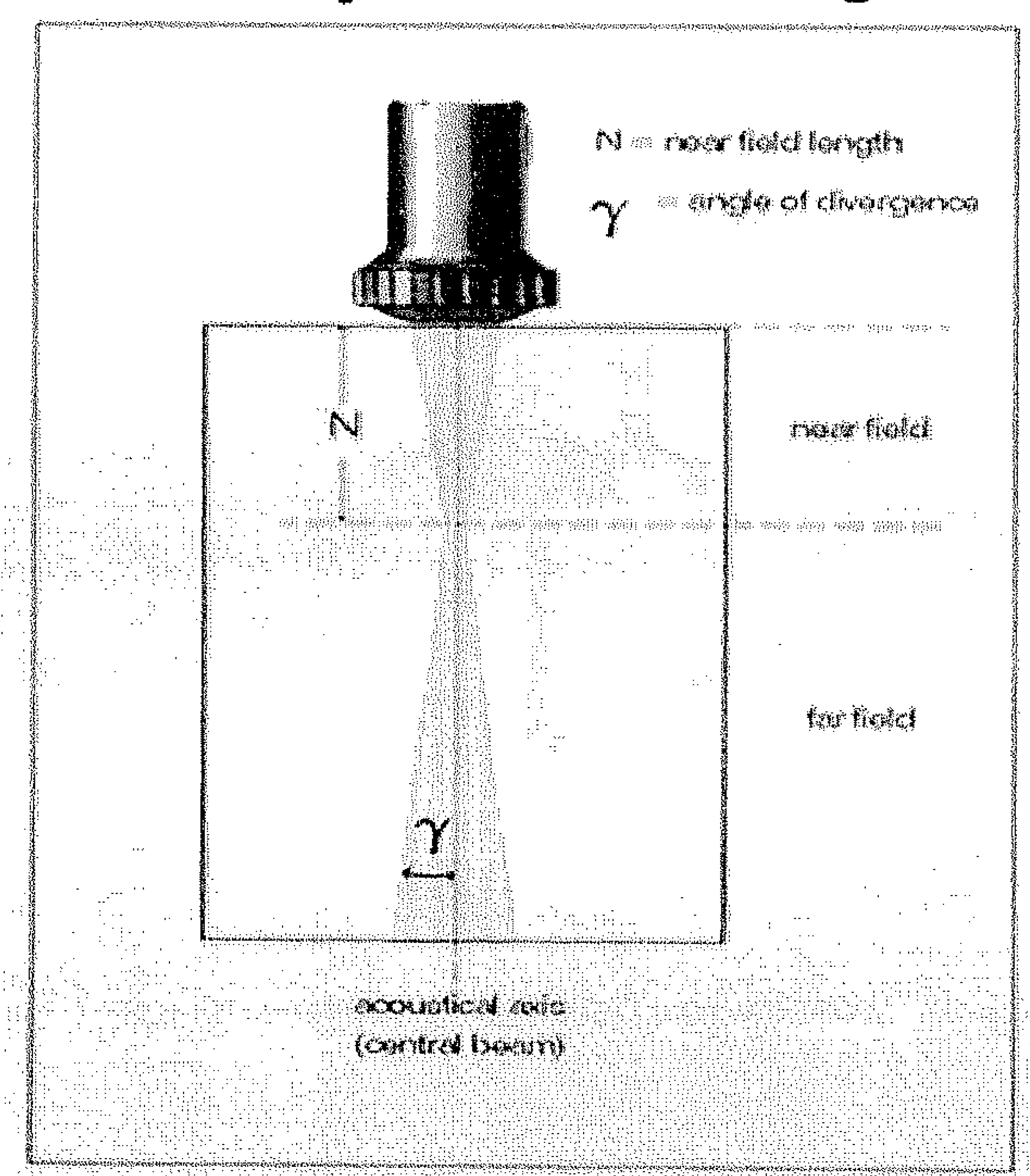
شكل (25): يوضح فحص الشق المستوي بالمجس ذو الحزمة المستقيمة.



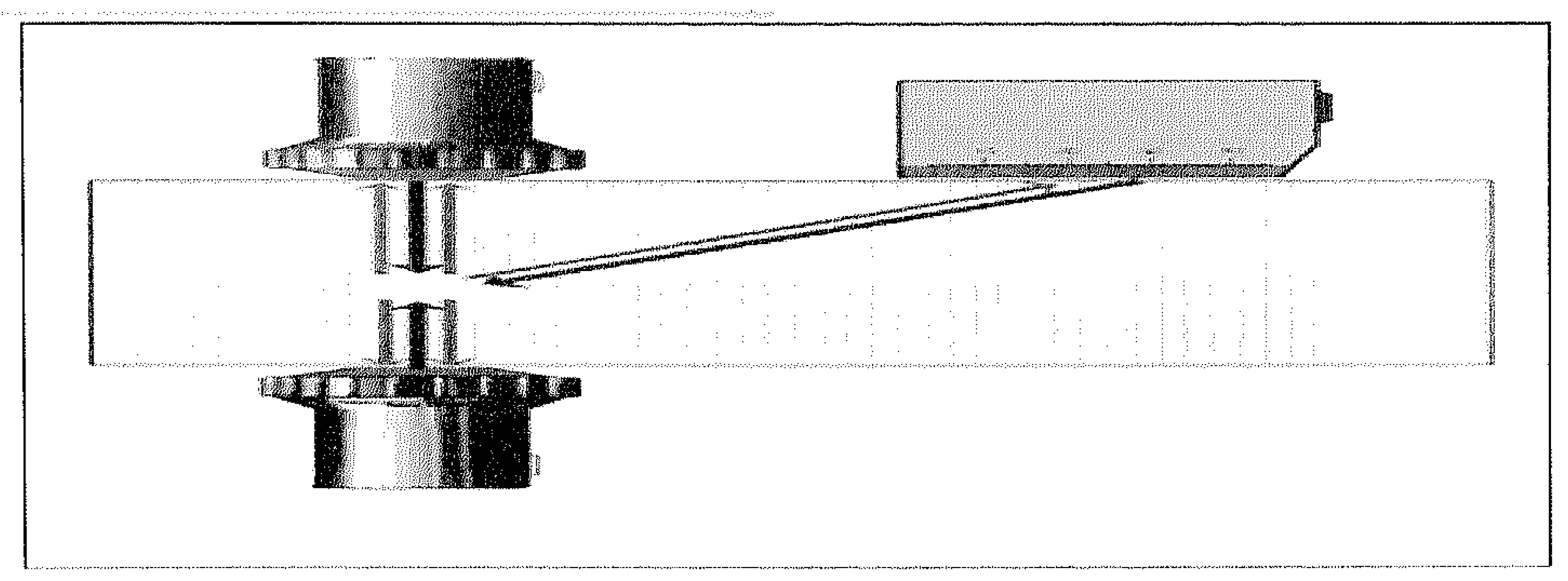
شكل (26): يوضح فحص الشق المستوي بالمجس ذو الحزمة الزاوية.



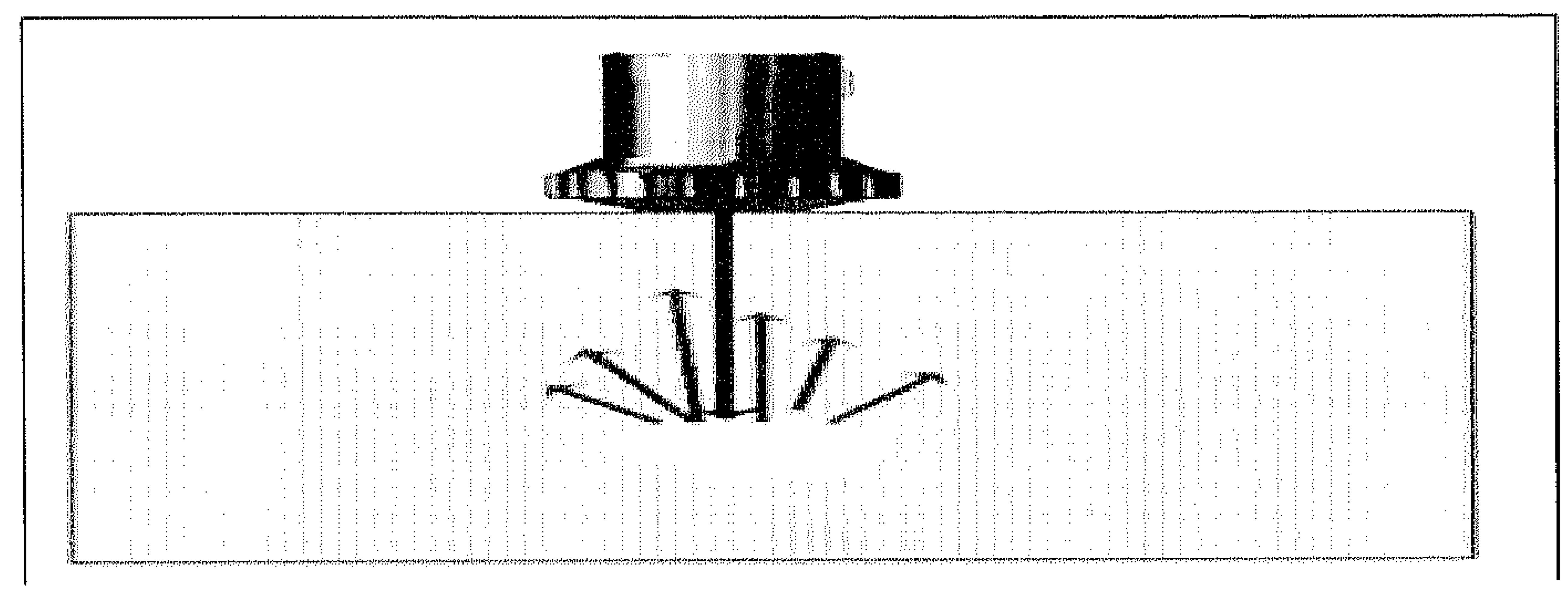
شكل (27): يوضح فحص الشق الغير مستوي بالمجس ذو الحزمة الزاوية.



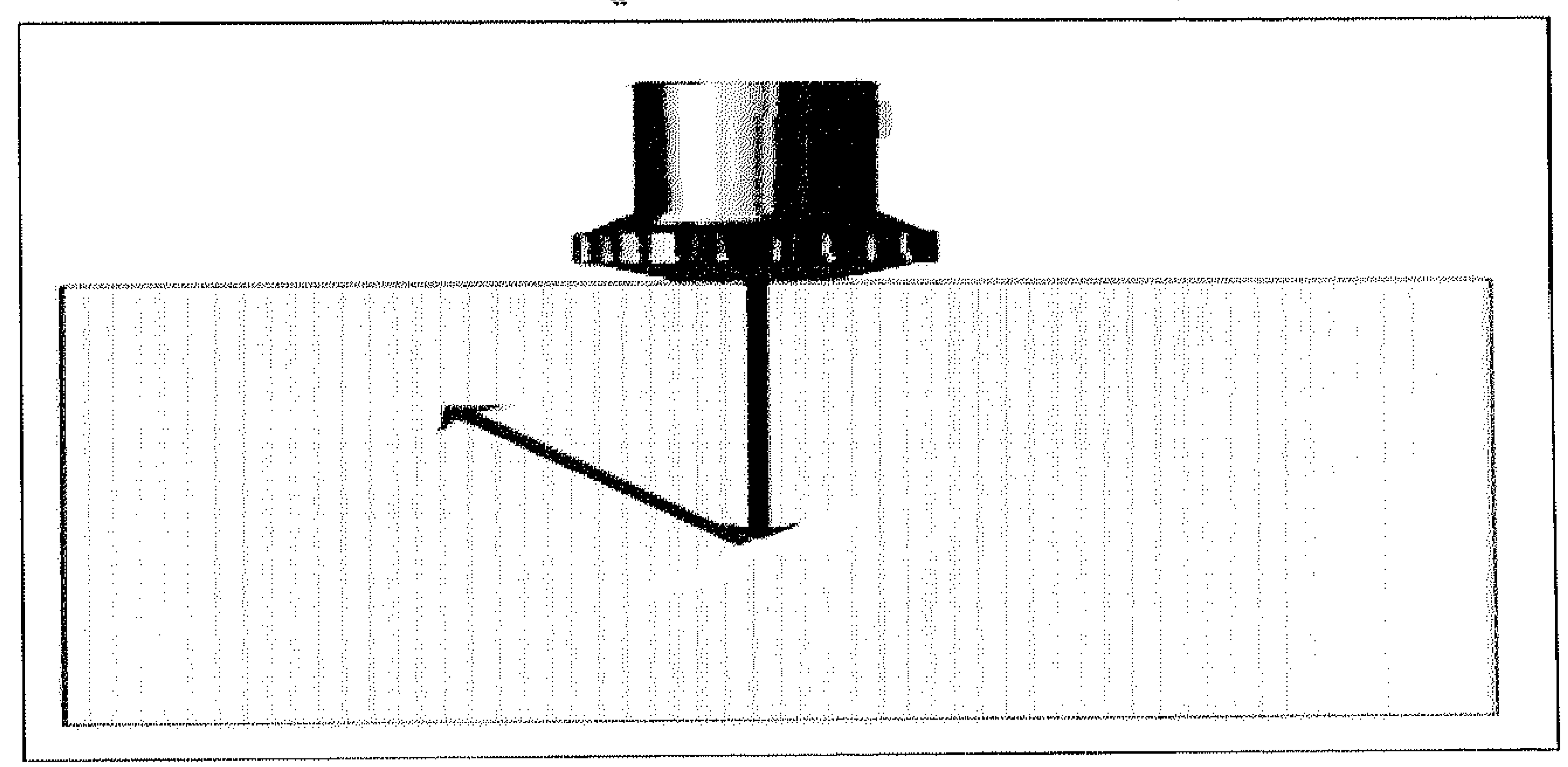
شكل (28): يوضح مجال الصوت.



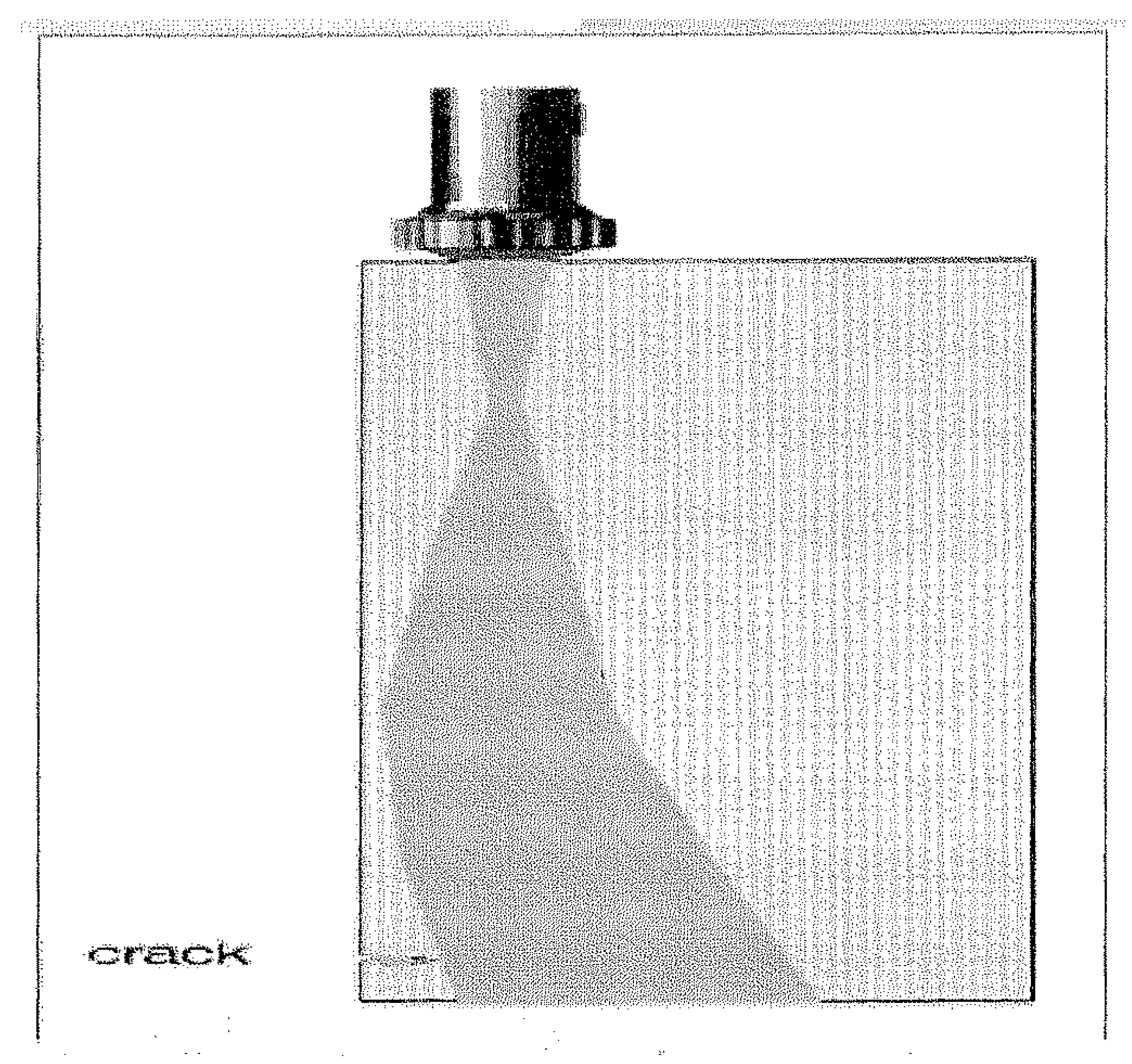
شكل (29): يوضح الكشف عن العيب الغير مستوي من اتجاهات مختلفة.



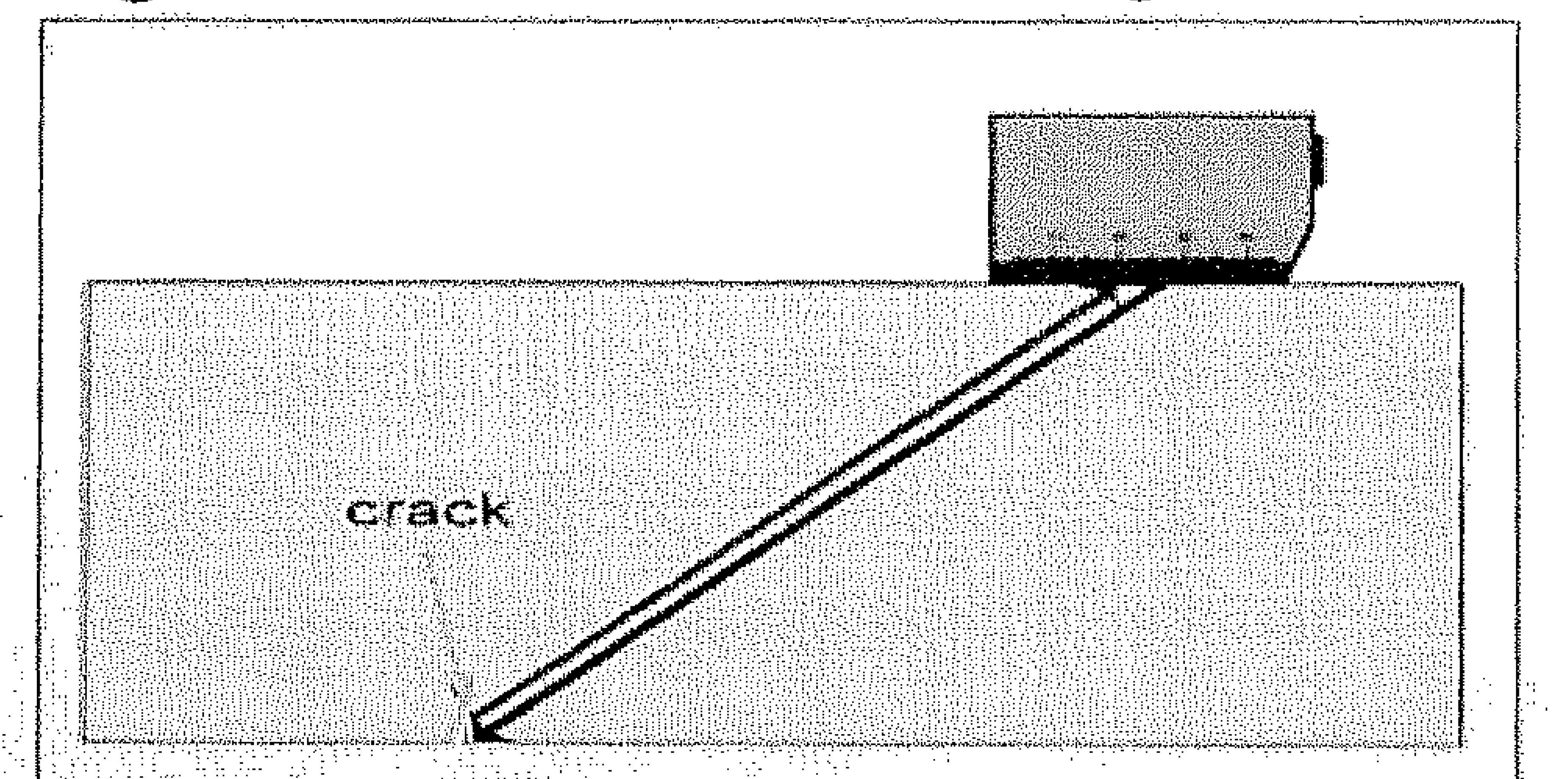
شكل (30): يوضح فحص العيب الغير مستوي بالمجس ذو الحزمة المستقيمة.



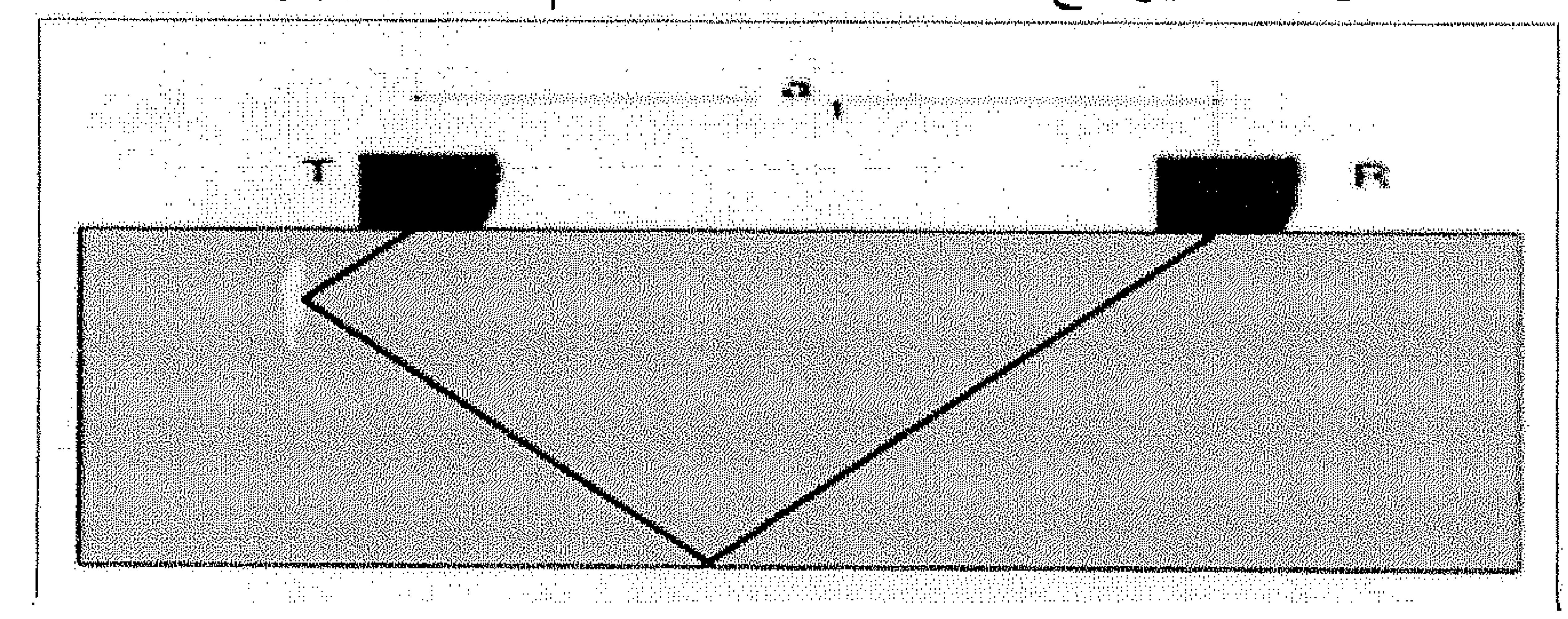
شكل (31): يوضح انعكاس الموجة عن سطح العيب المستوي المائل.



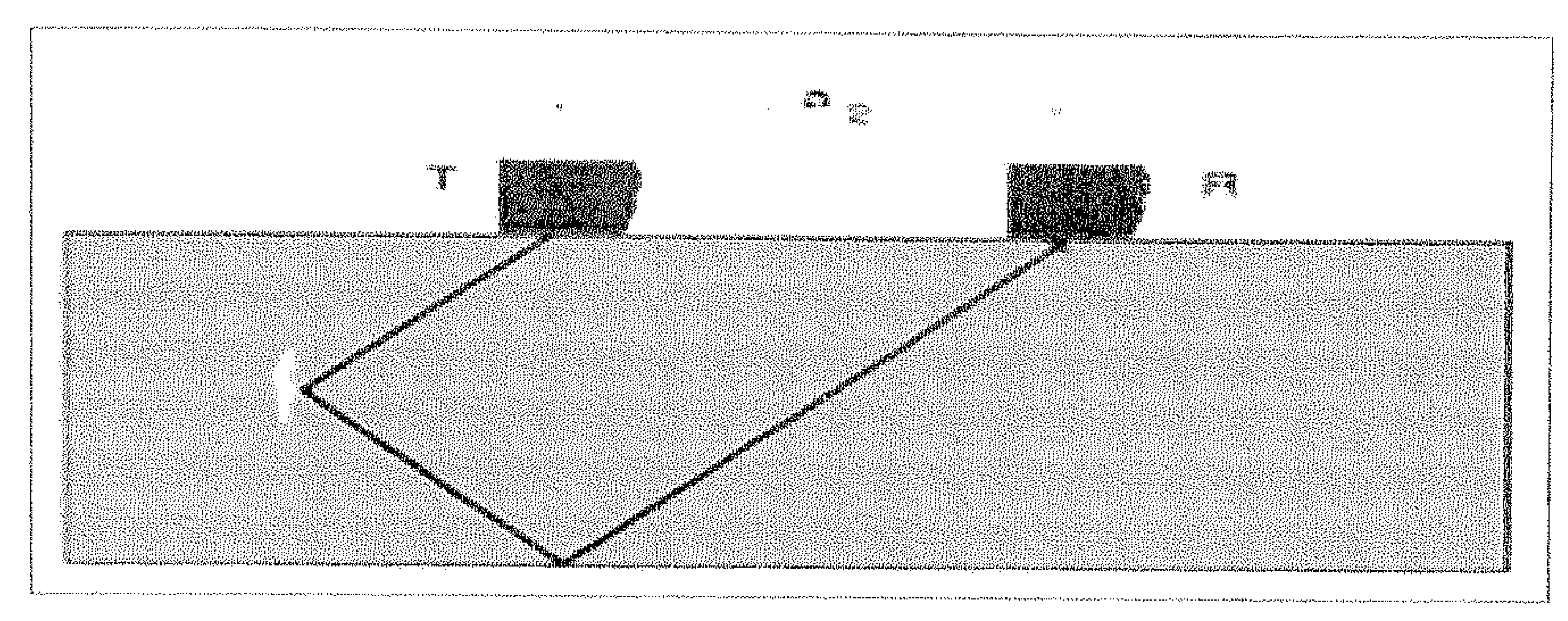
شكل (32): يوضح تشتت الحزمة الصوتية على السطح الجانبي.



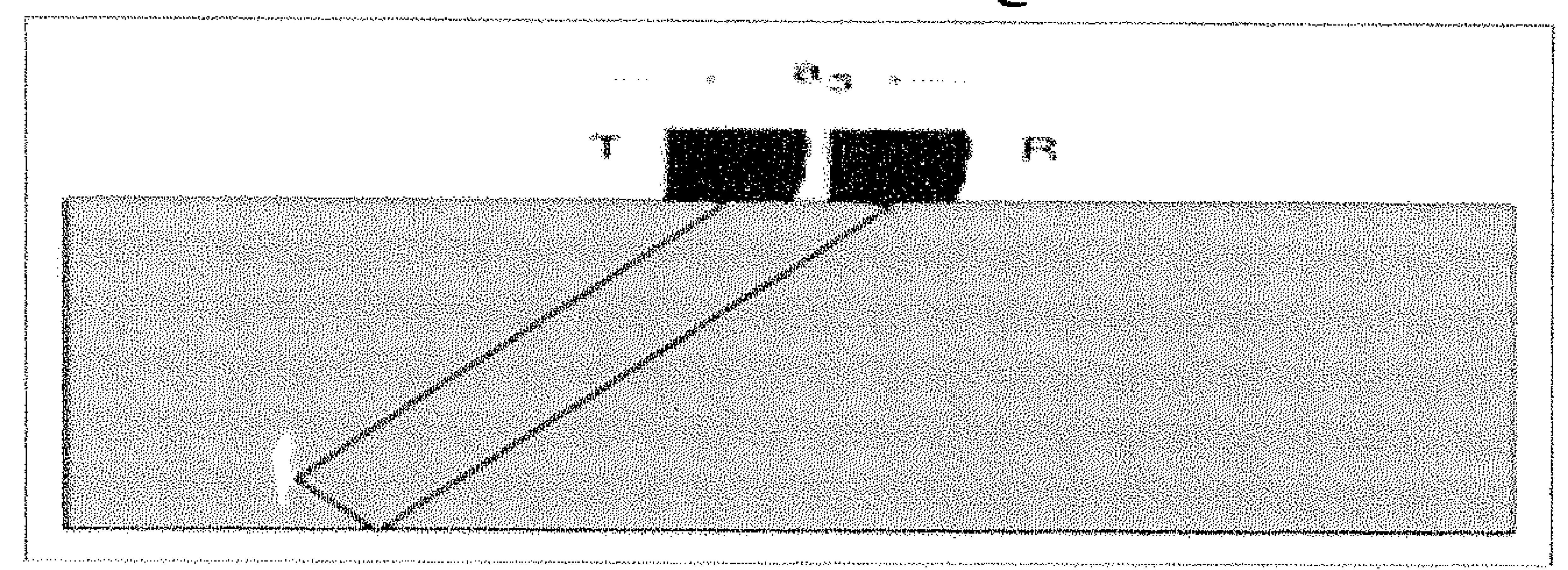
شكل (33): يوضح كشف الشق باستخدام الفحص بزاوية 45°.



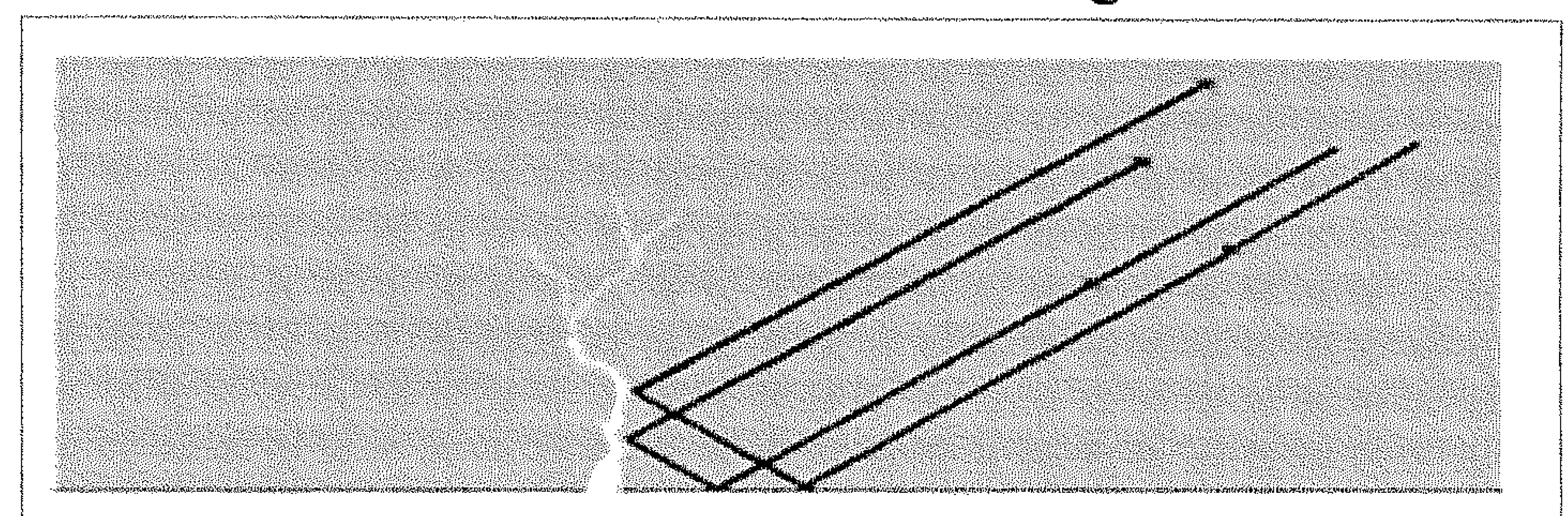
شكل (34): يوضح تأثير انعكاس الموجة عن سطح الشق بزاوية.



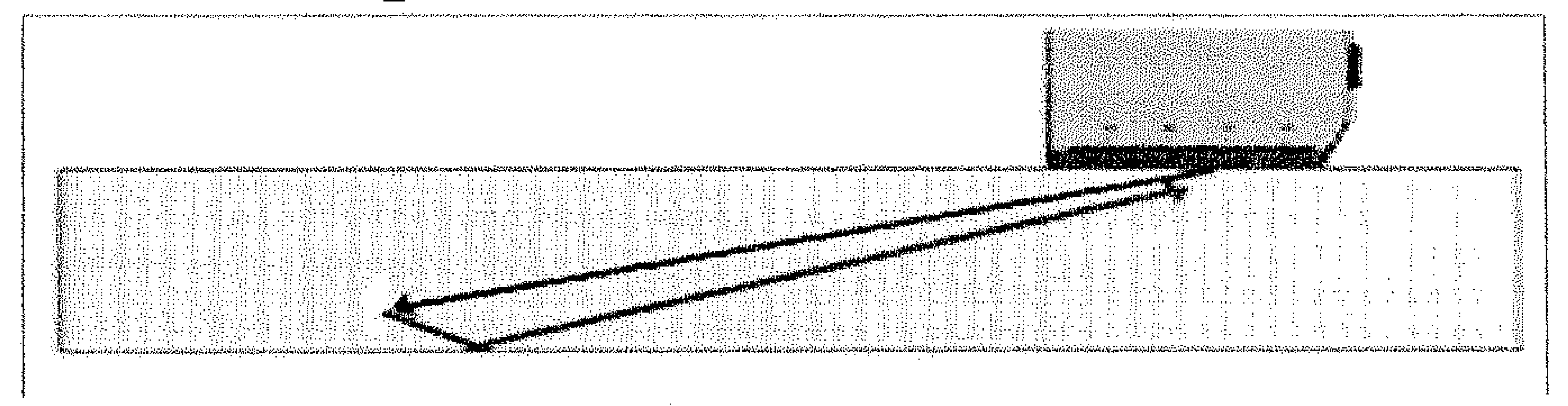
شكل (35): يوضح فحص الشق في منتصف عينة الاختبار.



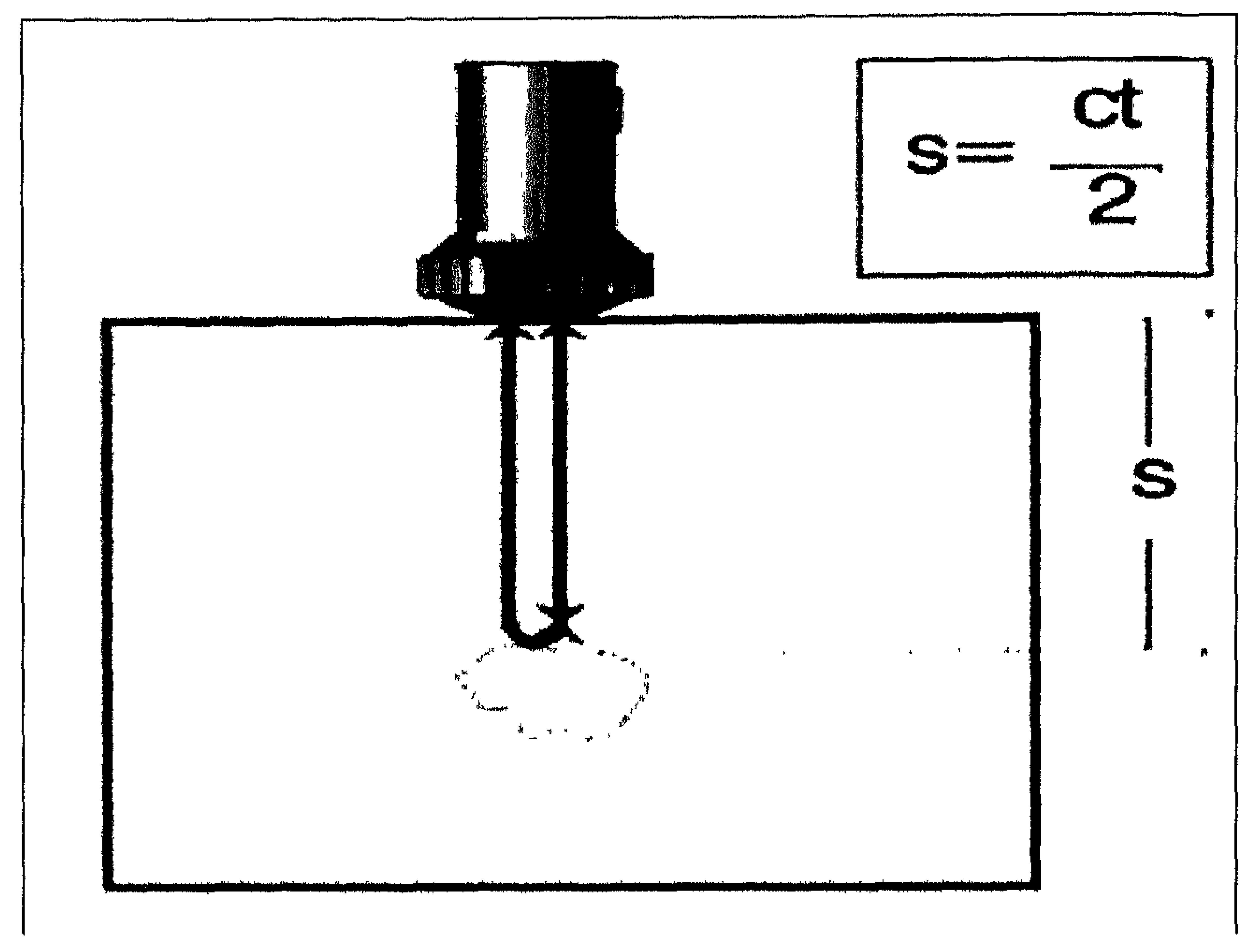
شكل (35): يوضح فحص الشق في المنطقة السفلى من عينة الاختبار.



شكل (36): يوضح تأثير انعكاسات الموجة عن سطح الشق بزوايا.



شكل (37): يوضح الانعكاس العمودي من قرب سطح شق مستوي.



شكل (38): يوضح حساب مسار الموجة.

فحص الخرسانة: -

1. اختيار وضعية تثبيت محولات الطاقة : -

في هذه الطريقة يتم وضع محول الطاقة المرسل T_x على نقطة فحص مناسبة على السطح، اما محول الطاقة المستلم R_x فيوضع على نقاط متتالية من السطح وعلى طول خط مستقيم، بعدها يتم رسم المسافة بين مراكز محولات الطاقة مع زمن الانتقال. ان ميل الخط المستقيم الناتج من هذه النقاط يعطي معدل سرعة الذبذبة للسطح.

في حالة عدم وقوع نقاط الفحص على خط مستقيم فهذا يشير الى ان الخرسانة قرب السطح ذات نوعية متغيرة او يشير الى وجود شق في الخرسانة واقع على خط نقاط الفحص.

ان التغير في ميل الخط المستقيم الى ان سرعة الذبذبة قرب السطح هي اقل بكثير من السرعة في الطبقات السفلى للخرسانة. ان هذه الطبقة رديئة النوعية يمكن ان تكون ناتجة بفعل الحريق او التجمد او التعرض للكبريتات...الخ

ان ميل المستقيم للمسافة بين محولات الطاقة الى حد الـ X_o ولزمن انتقال خلال الطبقة المتأثرة من الخرسانة يعطي سرعة الذبذبة خلال هذه الطبقة. بعد المسافة X_o فأن الذبذبة تنتقل خلال الخرسانة السليمة (أسفل الطبقة المتأثرة) ويعطي ميل المستقيم بعد هذه المسافة X_o سرعة اكبر للخرسانة السليمة.

يمكن ايجاد سمك الطبقة السطحية المتأثرة من الخرسانة من المعادلة الاتية:

$$t = \frac{x_o}{2}\sqrt{\frac{V_s - V_d}{V_2 + V_d}}$$

حيث ان:

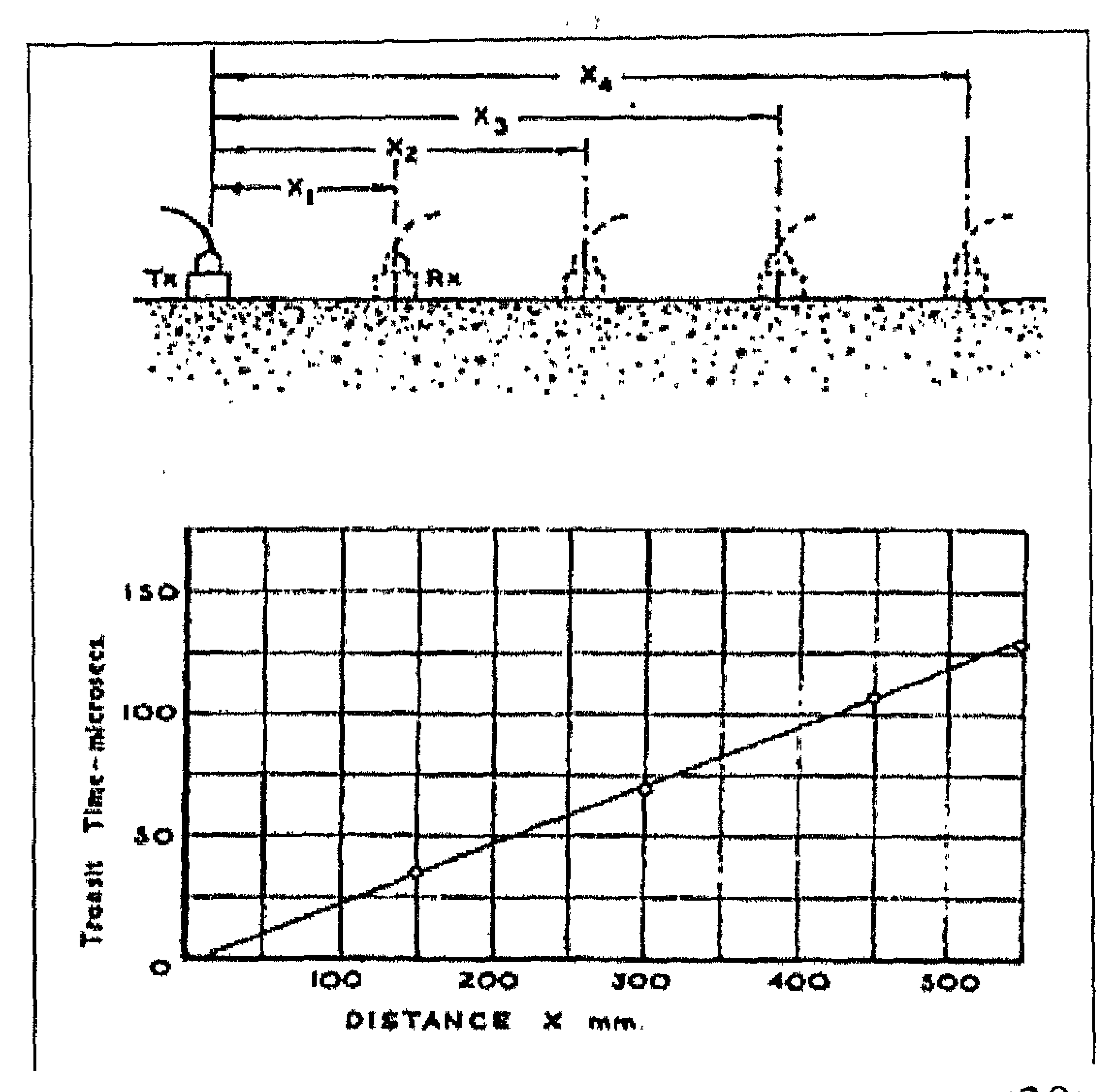
V_d: سرعة الذبذبة في الخرسانة المتضررة

V_s: سرعة الذبذبة في طبقة الخرسانة التحتية السليمة

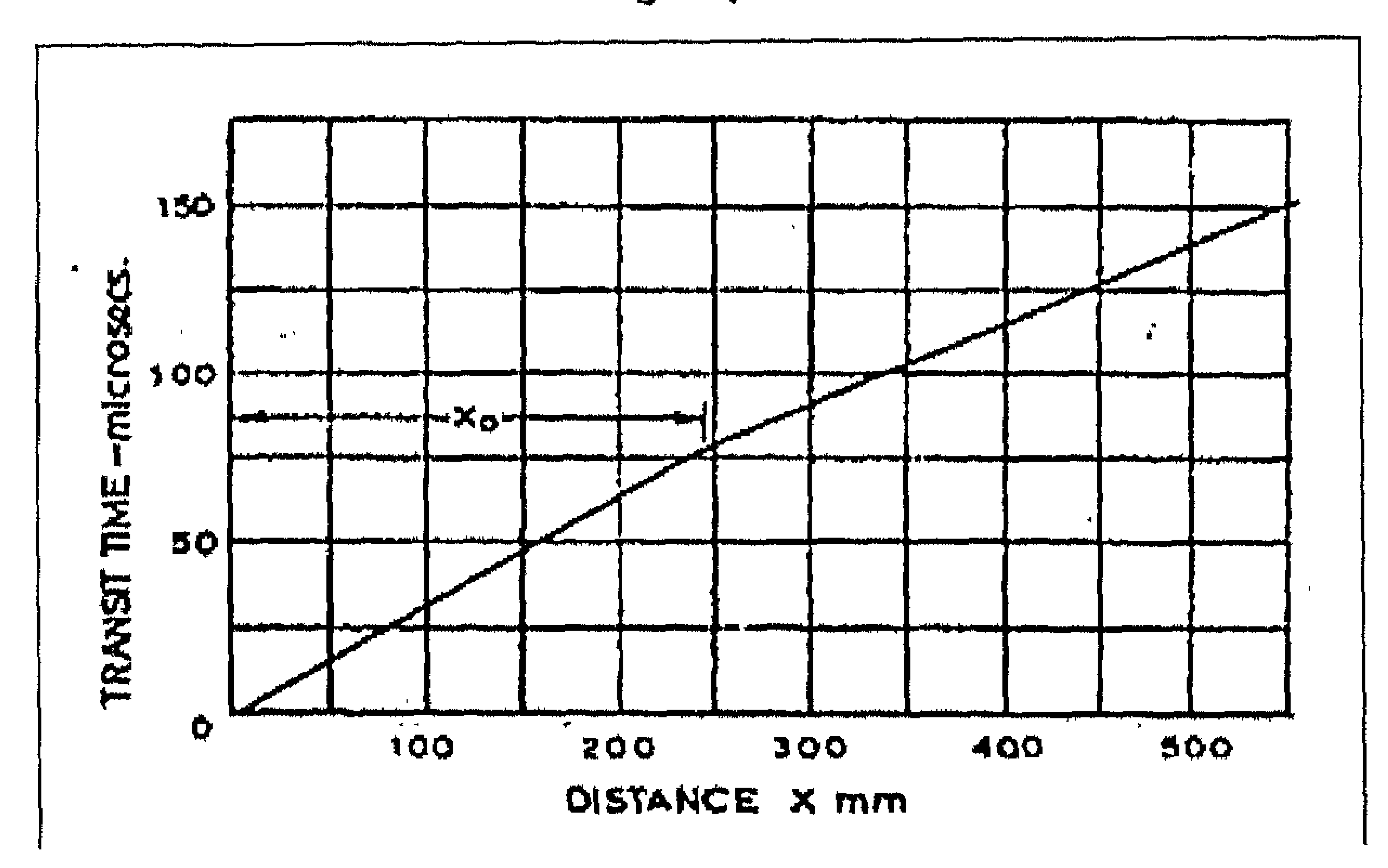
t: سمك طبقة الخرسانة المتضررة

X_o: المسافة التي يتغير عندها ميل الخط المستقيم

كما مبين في الاشكال ادناه:



شكل (39): يوضح ايجاد سرعة الذبذبة فوق الصوتية بطريقة الفحص غير المباشرة.



شكل (40): يوضح ايجاد سمك الطبقة السطحية المتضررة بطريقة الفحص غير المباشرة.

تأثير ظروف الفحص:

يمكن ان تتأثر سرعة الذبذبة خلال الخرسانة بعدة عوامل:

1 - طول المسار

2 - الابعاد الجانبية لنموذج الفحص

3 - وجود حديد التسليح

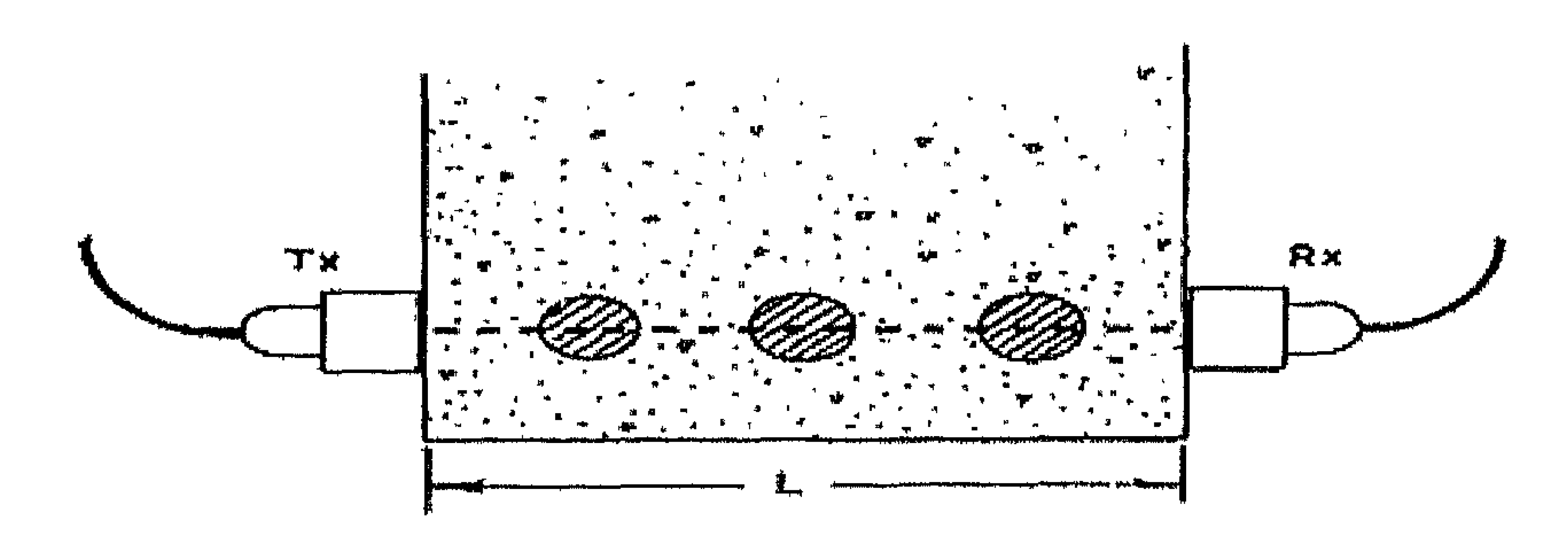
4 - المحتوى الرطوبي للخرسانة

سوف يتم اهمال تأثير طول المسار وذلك عندما لايقل عن (100) ملم عند استخدام ركام بمقاس (20) ملم او لايقل عن (150) ملم لمقاس ركام (40) ملم.

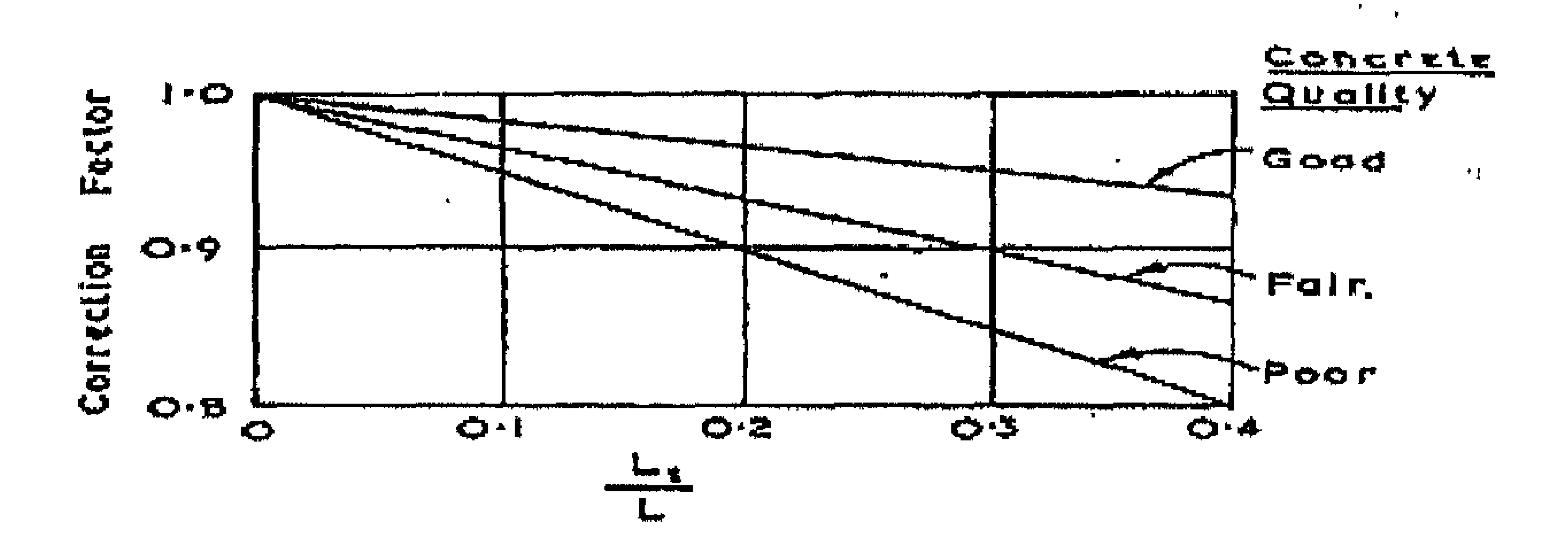
لاتتأثر سرعة الذبذبة بشكل النموذج المفحوص طالما ان البعد الجانبي (وهو البعد المقاس بزاوية عمودية على مسار الذبذبة) لايقل عن الطول الموجي لترددات الذبذبة.

ان سرعة الذبذبات في قضيب من الفولاذ بصورة عامة تكون اعلى مما في الخرسانة ولهذا السبب قد تكون سرع الذبذبات المأخوذة بالقرب من حديد التسليح اكبر ولا تمثل الخرسانة.

بصورة عامة ان تأثير حديد التسليح قليل جدا وذلك اذا كانت القضبان واقعة بالاتجاه العمودي لمسار الذبذبة. فاذا كانت النسبة (L_s/L) معروفة فمن الممكن تصحيح سرعة الذبذبة المقاسة وذلك بضربها بمعامل التصحيح المقابل لهذه النسبة ولنوعية الخرسانة.كما مبين بالشكل (5).



شكل (41): يوضح موقع القضبان بالاتجاه العمودي لمسار الذبذبة.



شكل (42): يوضح تأثير حديد التسليح على سرعة الذبذبة فوق الصوتية (القضبان تقع بالاتجاه العمودي لمسار الذبذبة.

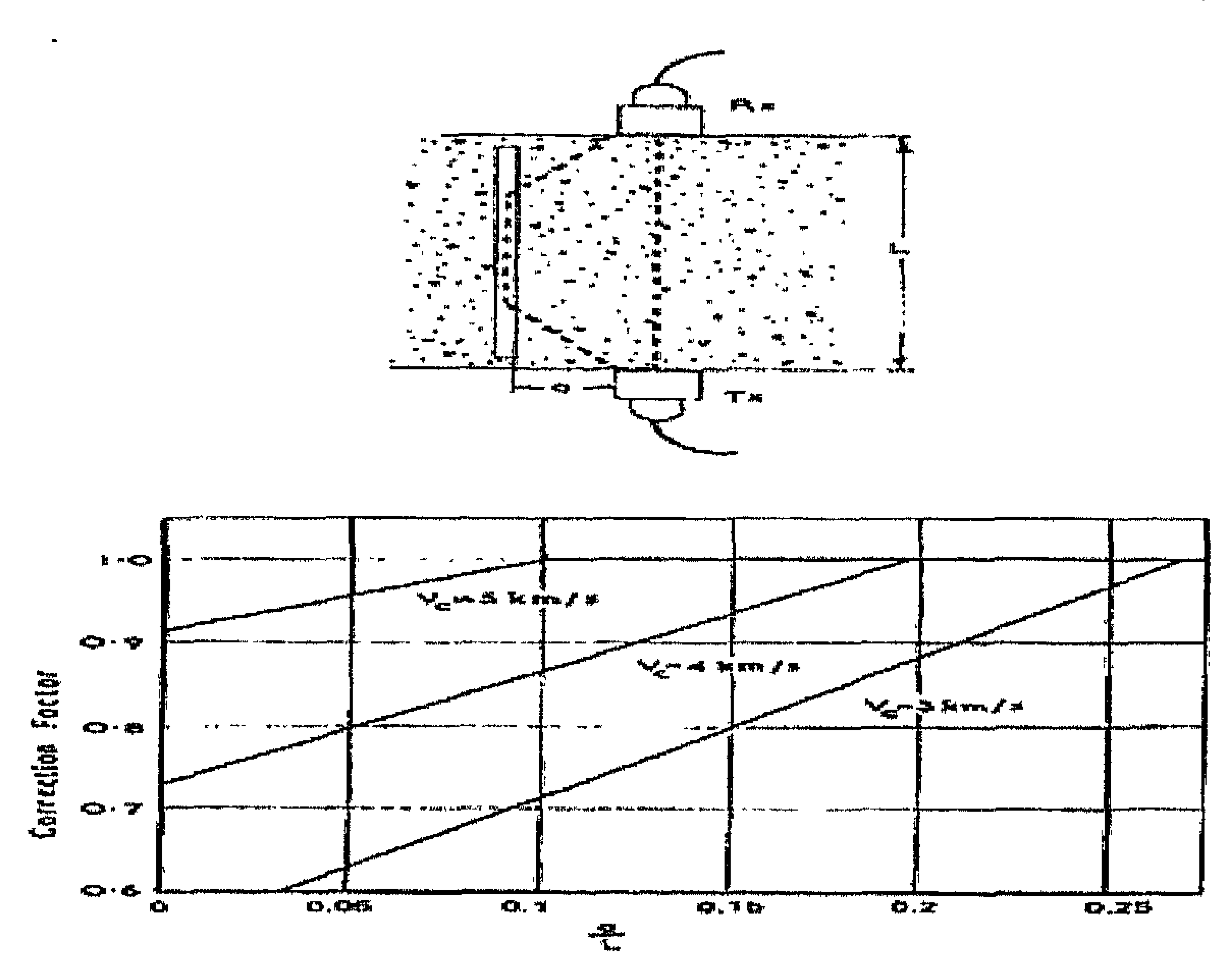
Table 1. correction factors to allow for the effect of steel bars perpendicular to the direction of pulse propagation

Ls/L	Velocity in concrete Vckm/s		
	Vc = 3.0	Vc = 4.0	Vc = 5.0
0.10	0.95	0.96	0.98
0.15	0.93	0.95	0.97
0.20	0.90	0.93	0.96
0.25	0.88	0.92	0.95
0.30	0.85	0.90	0.95

L = total path length

Ls = total length of path through the steel

اما عندما تكون قضبان حديد التسليح واقعة بموازاة مسار الذبذبة في هذه الحالة يكون من الصعب تجنب تأثير حديد التسليح على القراءات. وكما مبين في الشكل (43):



شكل (43): يوضح تأثير حديد التسليح على سرعة الذبذبة فوق الصوتية (القضبان تقع باتجاه موازي لمسار الذبذبة.

وسرعة الذبذبة خلال الخرسانة يتم حسابها من المعادلة الاتية:

$$V_c = \frac{2\alpha V_s}{\sqrt{4_\alpha^2 + (TV_s - L)^2}}$$

$$\text{Provided } V_s \geq V_c$$

V_s: سرعة الذبذبة في قضيب الفولاذ.

V_c: سرعة الذبذبة في الكونكريت.

a: المسافة بين سطح قضيب الفولاذ والخط الواصل بين محولي الطاقة (المرسل والمستلم).

وتأثير القضيب يختفي اذا كان:

$$\frac{\alpha}{L} > \frac{1}{2}\sqrt{\frac{V_s - V_c}{V_s + V_c}}$$

اما المحتوى الرطوبي للخرسانة فله تأثير قليل ولكنه مهم على سرعة الذبذبة وبصورة عامة تزداد السرعة بزيادة المحتوى الرطوبي.

الكشف عن الفراغات الكبيرة والفجوات:

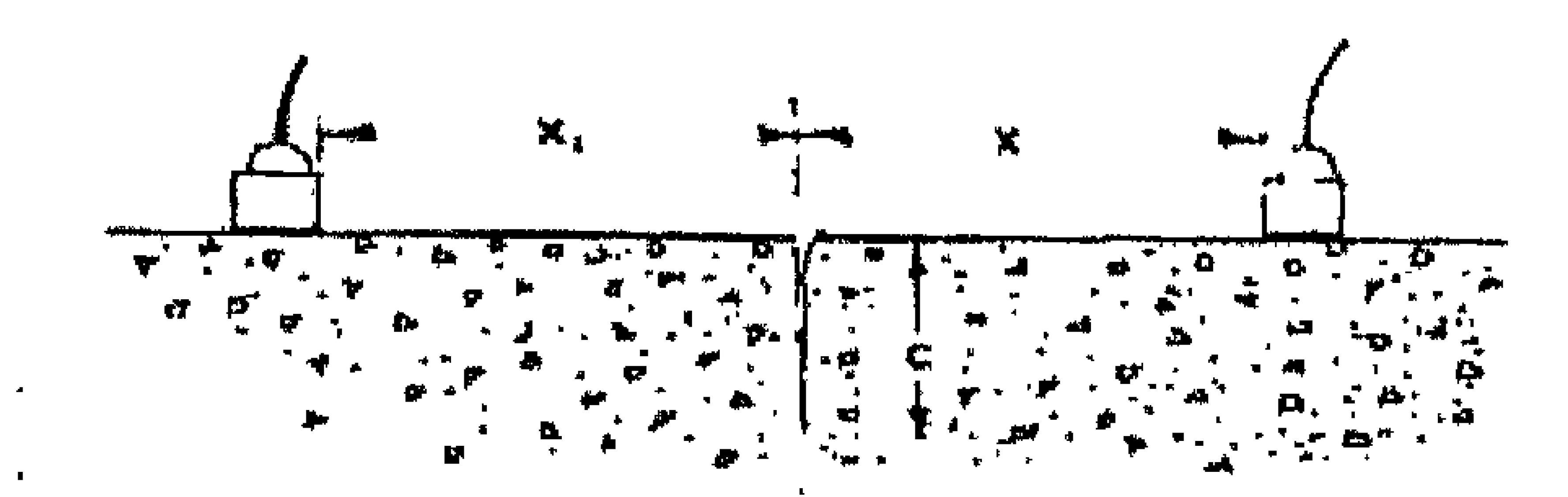
يمكن الكشف عن الفجوة الكبيرة وذلك بقياس زمن انتقال الذبذبات المارة بين محولات الطاقة عندما يتم وضعها في الموقع المناسب بحيث تقع الفجوة على الخط الواصل بينهما.

يمكن تخمين حجم وموقع مثل هذه الفجوات وذلك بافتراض ان الذبذبات سوف تنتقل بين ناقلات الطاقة بأقصر مسار وحول الفجوات. ان مثل هذه التخمينات يكون معول عليها اكثر في حالة ان الفجوة تمتلك حدود معلومة ومحاطة بخرسانة كثيفة ومنتظمة. عندما تكون المسافة المسقطة للفجوة اصغر من قطر محول الطاقة في هذه الحالة لايمكن الكشف عن الفجوة.

تخمين عمق التشققات السطحية:

يمكن تخمين عمق شق ظاهر على السطح وذلك بقياس زمن الانتقال عبر الشق واستخدام طريقتين مختلفتين لوضعية ترتيب محولات الطاقة على السطح.

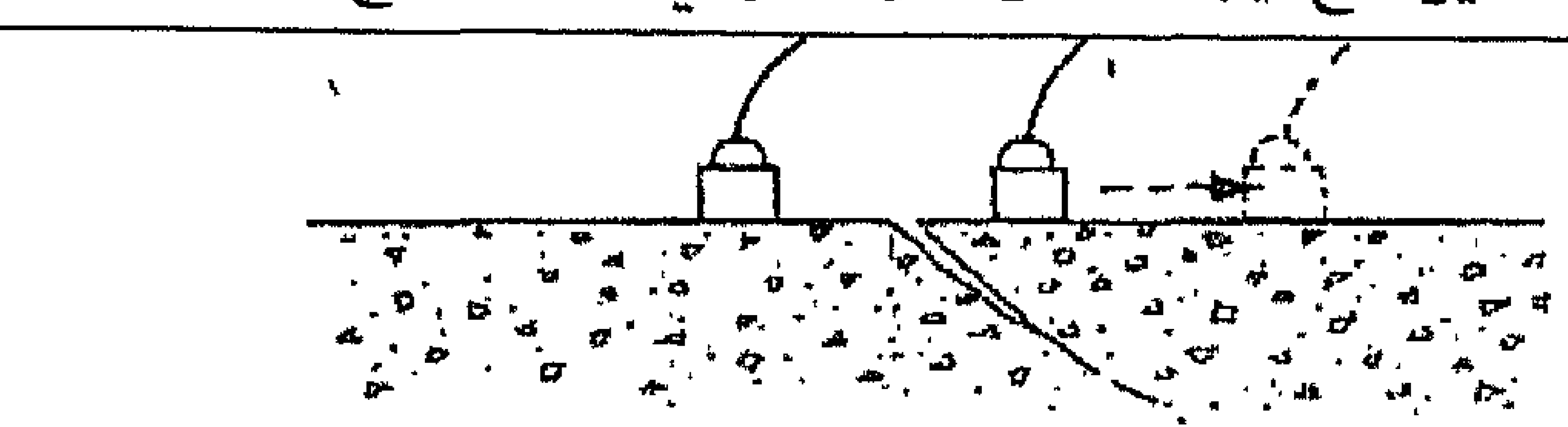
الشكل ادناه يوضح الترتيب الاول المناسب لوضعية محولات الطاقة حيث يتم وضع محولي الطاقة المرسل والمستلم على جهتي الشق المتقابلين وعلى مسافة متساوية من الشق. تم اختيار قيمتين لـ X احدهما ضعف الاخرى وتم حساب زمن الانتقال لهما.



أ- تخمين عمق شق عمودي على سطح الخرسانة ، نجعل القيمة الاولى لـــ X تساوي X1 والقيمة الثانية 2X1 وزمن الانتقال المقابل لهاتين القيمتين هو T1 و T2 على التوالي وان :

$$\text{crack depth, } c = X_1\sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}}$$

شكل (44): يوضح ايجاد عمق شق عمودي على سطح الخرسانة.



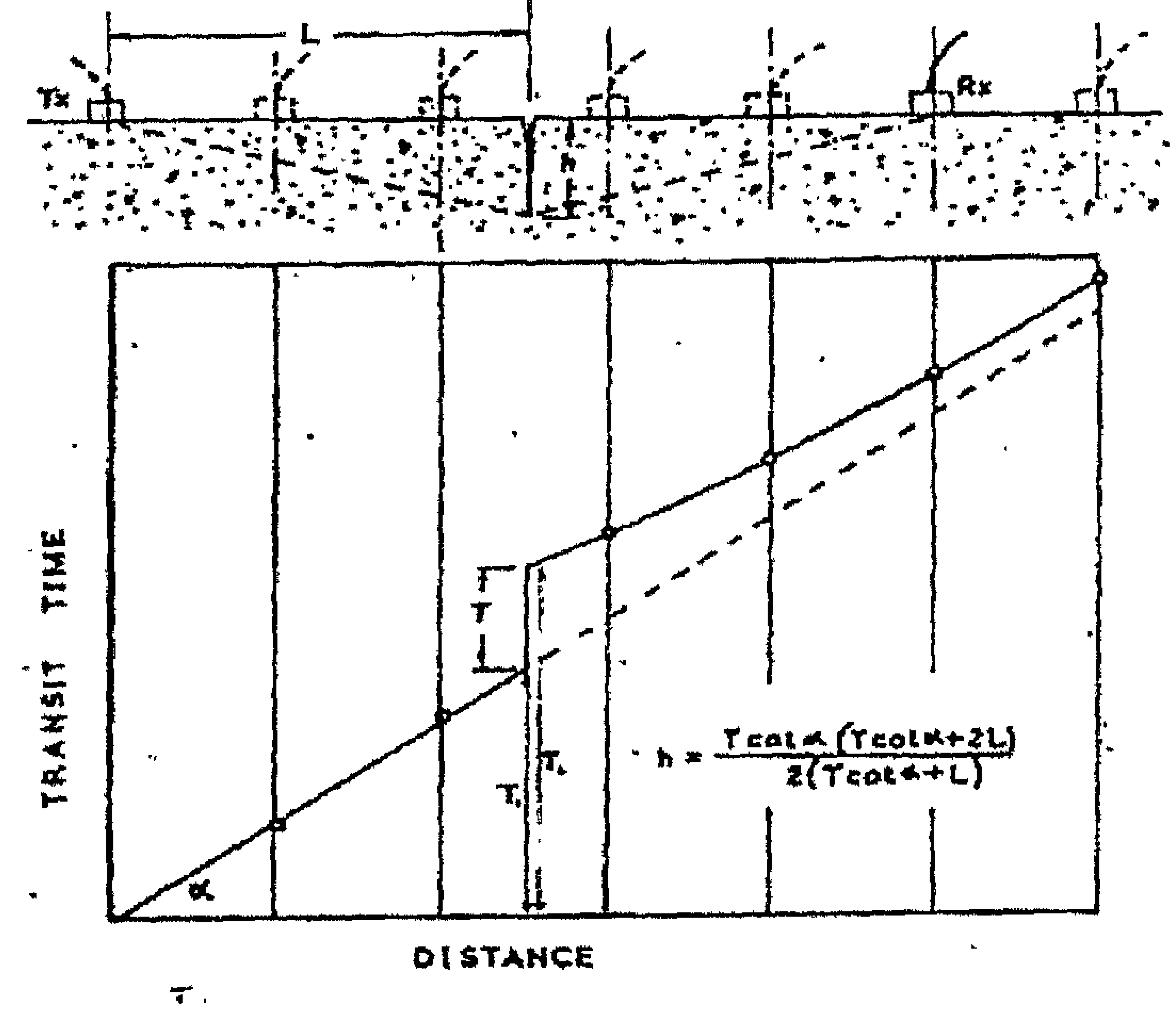
ب- فحص ميل شق : يوضع محولي الطاقة قرب الشق وعلى جهتي الشق المتقابلين ، يحرك احد المحولين بعيداً عن الشق. اذا قل زمن الانتقال فهذا يشير الى ان ميل الشق وهو باتجاه حركة المحول

شكل (45): يوضح فحص ميل شق.

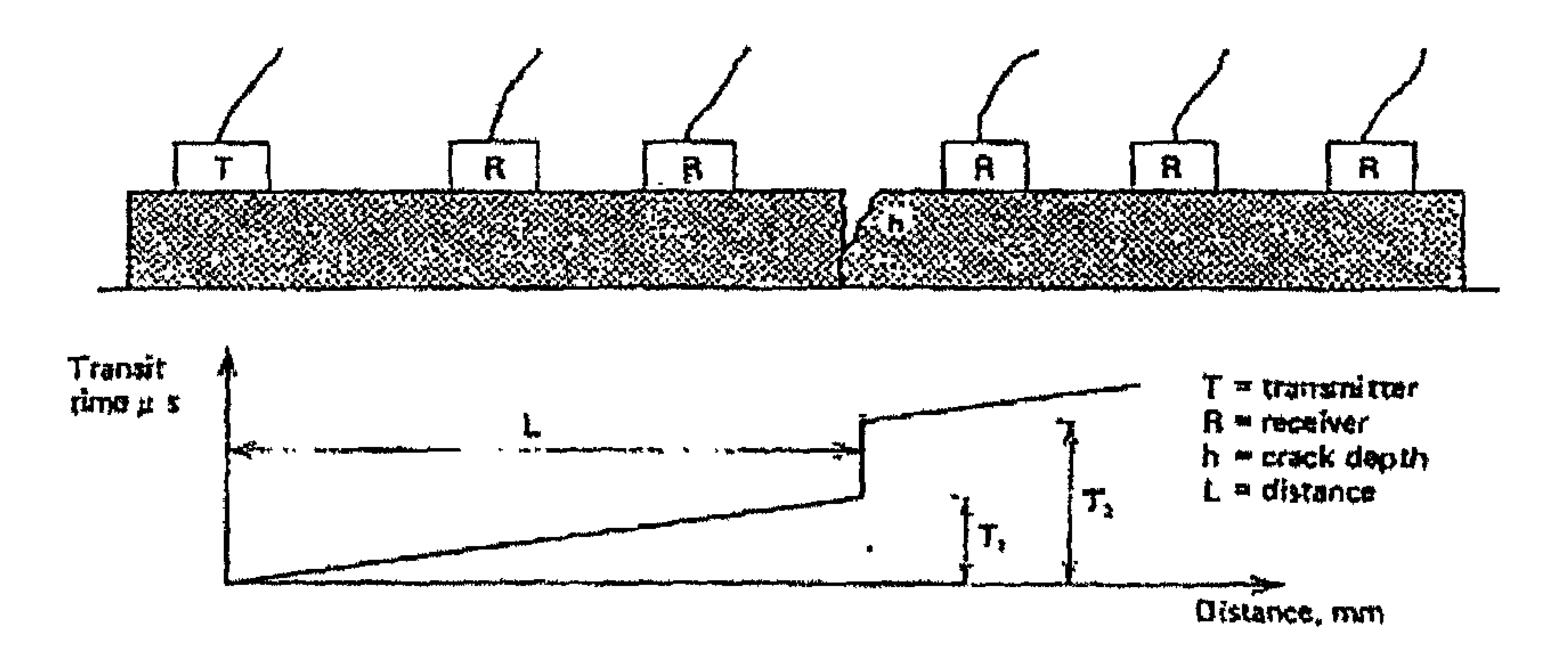
ويمكن اجراء اختبار لتقييم فيما اذا كان الشق يقع في مستوي عمودي على السطح وذلك بوضع محولي الطاقة (المرسل والمستلم) قرب الشق وتحريك احدهما. وكما مبين في الشكل اعلاه. اما اذا كان الشق بصورة غير عمودية فيتم حساب عمق الشق من المعادلة التالية: -

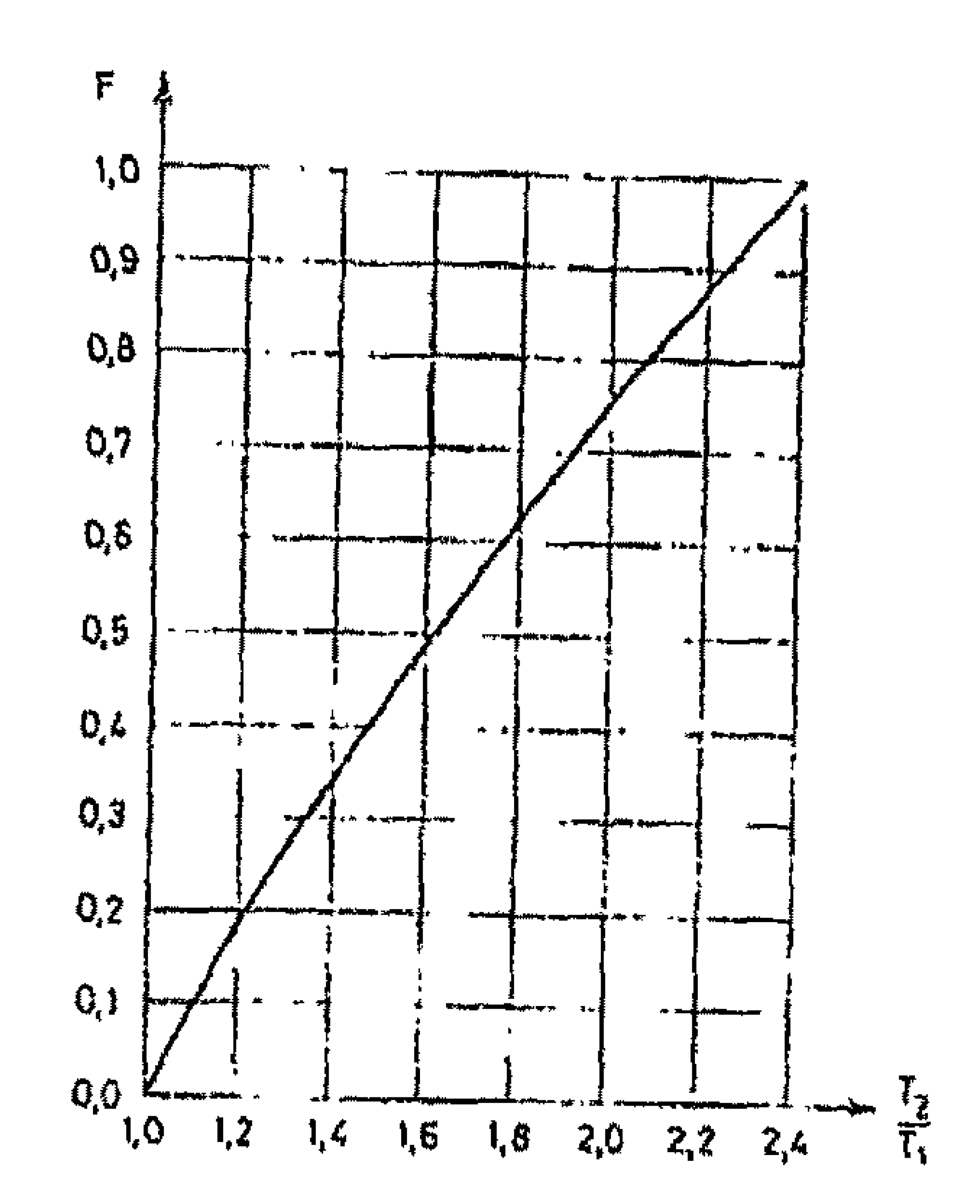
$$H = \frac{L}{2}\left(\frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2}\right)$$

والاشكال التالية تبين ما سبق ذكره: -



شكل(46): يوضح ايجاد عمق الشق.





$\frac{T_2}{T_1}$	F
1,0	0
1,1	0,095
1,2	0,183
1,3	0,265
1,4	0,343
1,5	0,417
1,6	0,488
1,7	0,556
1,8	0,622
1,9	0,687
2,0	0,750
2,2	0,873
2,4	0,992

شكل (47): يوضح العلاقة بين عامل التصحيح والنسبة T_2/T_1.

حساب معامل المرونة ونسبة بوسن للكونكريت: -

$$E_d =_\rho V^2 \frac{(1+v)(1-2v)}{(1-v)}$$

E_d: معامل المرونة الديناميكي (MN/m^2)

υ : نسبة بوسن

ρ: الكثافة (Kg/m^3)

V: سرعة الذبذبة (Km/s)

13.5 التأثيرات الكيميائية للموجات فوق الصوتية وأزالة الملوثات

وحيث ان جزيئات السائل متماسكة مع بعضها بقوى تجاذبية تحدد قوة شدة السائل ولهذا فلتوليد هذه التجاويف يجب أن يكون الضغط السلبي لشوط التخلخل كافياً للتغلب على قوة شدة السائل، وان كمية هذا الضغط تعتمد على نوع ونقاوة السائل، ففي حالة السوائل التامة النقاوة تكون قوى الشد للسائل

عظيمة على درجة لا تستطيع حتى المولدات فوق السمعية ذات الشدة العالية من توليد ضغط سلبي كافي لتكون هذه الفجوات، ولكن معظم السوائل ملوثة بقدرٍ كافٍ من الجسيمات الصغيرة يمكنها من تكوين التجاويف.

ان الفقاعات في السائل غير مستقرة فان كانت كبيرة فانها سوف تطفو على السطح وتنفجر، واذا كانت صغيرة فانها تذوب في السائل. اما تلك التي تتولد من الموجات فوق السمعية فانها تقوم بامتصاص الطاقة باستمرار خلال اشواط التضاغط والتخلخل للموجات فوق السمعية وهذا ما يجعل الفقاعات تنمو وتتقلص محققة موازنة ديناميكية ما بين البخار داخل الفقاعة والسائل المحيط بها، وفي بعض الحالات فان هذه الموجات تبقى الفقاعات (التجاويف) متذبذبة عند هذا الحجم وفي حالات اخرى فان معدل حجمها يزداد ويعتمد تعاظم التجويف على شدة الصوت، فان الموجات فقو السمعية عالية الشدة بامكانها توسيع التجويف بسرعة اثناء شوط التخلخل بحيث لا يتسع المجال لهذا التجويف بان يتقلص خلال شوط التضاغط ولهذا فان الفجوات ستنمو فقط خلال شوط التخلخل.

اما بالنسبة للموجات ذات الشدة المنخفضة فان حجم التجويف يتذبذب ما بين شوط التخلخل والتضاغط. وحيث ان المساحة السطحية للتجويف الناتجة بفعل الموجة ذات الشدة الواطئة تكون اكبر خلال شوط التخلخل عما عليه في شوط الانضغاط فلهذا فان الانتشار داخل التجويف خلال شوط التخلخل سيكون اكبر نسبياً من الانتشار إلى الخارج خلال شوط الانضغاط، وبذلك فان هذه التجاويف سوف تنمو بشكل بطيء خلال مجموعة دورات التخلخل والتضاغط.

ويمكن ان تتضخم هذه التجاويف إلى أن تصل الى الحجم الحرج حيث تقوم بامتصاص الطاقة على قدر كافي من الموجة فوق السمعية، ويعتمد الحجم

الحرج على تردد الموجة، فعلى سبيل المثال عند (20) كيلوهرتز فان الحجم الحرج هو التجويف الذي تقارب ابعاده (170) مايكرون.

ان الانفجار الداخلي للتجاويف تكون بيئة غير طبيعية ملائمة للتفاعلات الكيميائية، وان الغازات والابخرة داخل التجاويف تنضغط مولدة حرارة شديدة تؤدي إلى رفع درجة حرارة السائل والمنطقة المحطية بالتجويف مولدة بقعة حرارية موضعية، وعلى الرغم من ان درجة الحرارة لهذه المنطقة عالية جداً فان هذه المنطقة بالغة في الصغر بحيث تتلاشى الحرارة منها بسرعة. وبهذا فان تفاعل الموجات الصوتية مع السائل من خلال عملية تكوين الفجوات تهيء مدى من الطاقة خلال فترة زمنية لا تستطيع توفيرها مصادر أخرى.

اشار الباحث الكيميائي ميشيل هوفمان من معهد كالفورنيا للتقنية إلى امكانية الاستفادة من طاقة الموجات الصوتية في ازالة الملوثات المضرة للبيئة. اذ تعمل هذه الموجات – عندما يزيد ترددها عن 16 كيلو هرتز – عند تسليطها على السائل على تكوين فقاعات متناهية الصغر سرعان ما تختفي (في اقل من جزء من المليون من الثانية). بسبب تعرضها إلى درجة حرارة عالية وتمددها قبل اختفاءها، إذ ان درجة الحرارة داخل الفقاعات قد تصل إلى 5500 درجة سيليزية تكفي لتكسير الاواصر الكيميائية بين جزيئيات المواد الذائبة في الماء

وفي تجربة اجراها هوفمان بتعريض المبيط (البارايثون) في الماء لموجات بتردد (20) كيلو هرتزدات ادت إلى تخفيض نصف العمر اللازم لتحليل المبيد من (108) ايام إلى نصف ساعة. وهذا يعني انه بالامكان ازالة كثير من الملوثات باستخدام هذه التقنية للتخص من المخلفات السامة والضارة بابيئة.

مسائل عن الموجات فوق الصوتية

مثال (1): -

احسب الطول الموجي لموجة ضغط في الفولاذ ترددها 5MHz علما ان سرعة الصوت في الفولاذ (Mild Steel) 5960 m/sec.

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$$\therefore \lambda = \frac{5960}{5000000}$$

$$\lambda = 0.00192 \text{ m}$$

ولتحويليها الى الملي متريكون كالاتي:

$$\lambda = 0.00192 * 1000$$

$$\lambda = 1.192 \text{ mm}$$

واخيرا الترددات فوق الصوتية يكون الطول الموجي للصوت في المعادن قصير نسبيا لذلك من المعتاد ان نعبر عن الطول الموجي بوحدة الملي متر لكل ثانية.

مثال (2): -

احسب الطول الموجي لموجة ضغط في الالمنيوم ترددها 5MHz علما ان السرعة 0.252 μ.sec (6400 m/sec)

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$$\therefore \lambda = \frac{6400 * 1000}{5000000}$$

$$\lambda = 1.28 \text{ mm}$$

مثال (3): -

احسب نسبة الطاقة المنعكسة من السطح الفاصل بين الفولاذ والهواء علما ان الممانعة الصوتية للفولاذ 46.7 وللهواء 0.0004 .

$$\text{reflected energy} = \left(\frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2}\right)^2 * 100\%$$
$$\text{reflected energy} = \left(\frac{46.7 - 0.0004}{46.7 + 0.0004}\right)^2 * 100\%$$
$$\text{reflected energy} = \left(\frac{46.6996}{46.7004}\right)^2 * 100\%$$
$$\text{reflected energy} = (0.99998)^2 * 100\%$$
$$\text{reflected energy} = 1.0000 * 100\% \text{ apprax}$$
$$\text{reflected energy} = 100\%$$

مثال (4): -

احسب زاوية الانكسار في الفولاذ اذا علمت ان زاوية السقوط بالماء 10° وسرعة موجة الضغط الصوتية في الماء 1480 m/sec وللفولاذ 5960 .

$$\frac{\sin 10^\circ}{1480} = \frac{\sin R^\circ}{5960}$$
$$\frac{5960 * \sin 10^\circ}{1480} = \sin R^\circ$$
$$\frac{5960 * 0.1736}{1480} = \sin R^\circ$$
$$0.6993 = \sin R^\circ$$
$$R^\circ = 44.37^\circ$$

مثال (5): -

احسب زاوية الانكسار لموجة القص في الفولاذ اذا علمت ان زاوية السقوط لموجة الضغط في الماء 10° وسرعة موجة القص في الفولاذ 3240 m/sec.

$$\frac{\sin i^\circ}{V_1} = \frac{\sin R^\circ}{V_2}$$

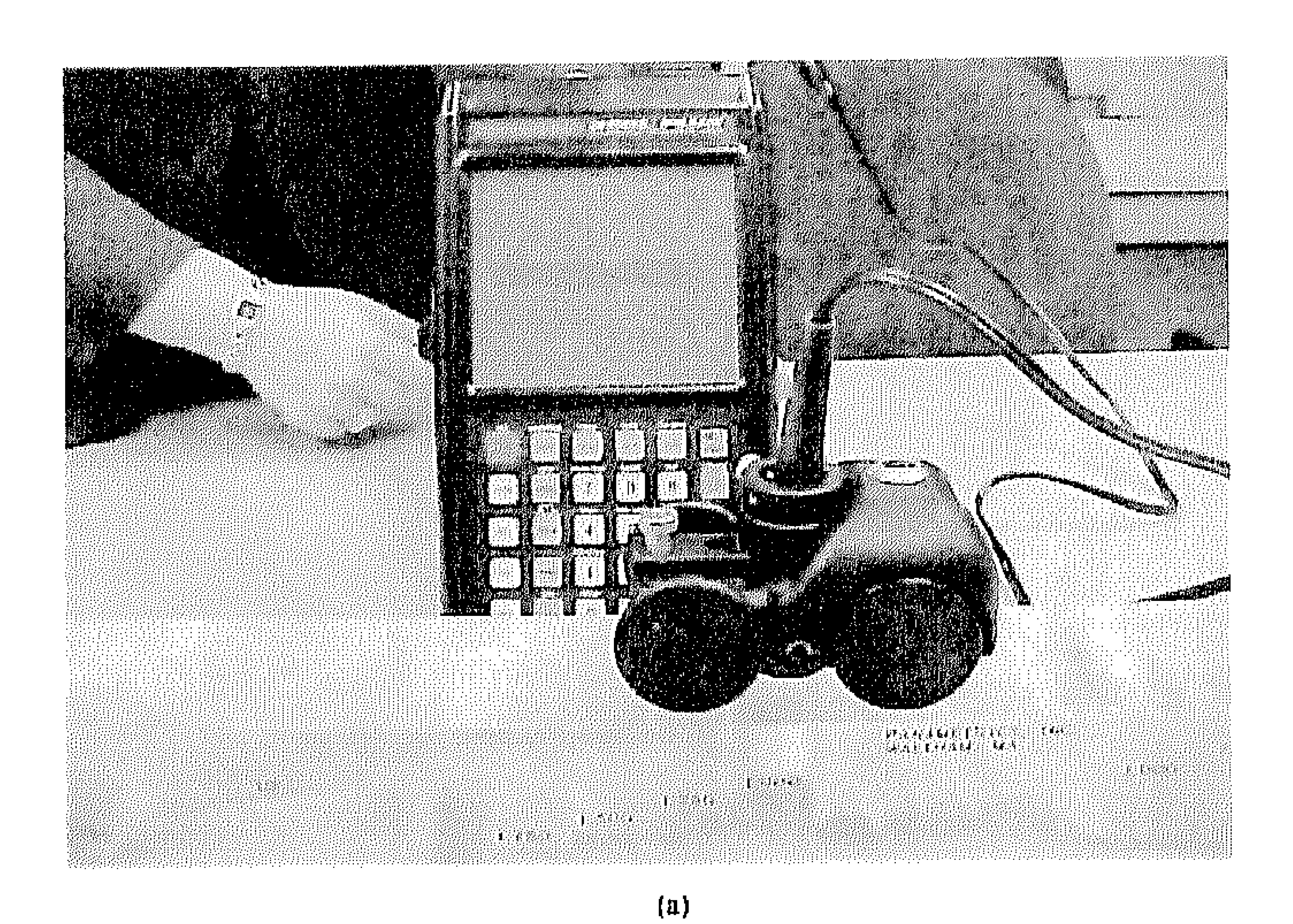
$$\frac{\sin 10^{\circ}}{1480} = \frac{\sin R^{\circ}}{3240}$$

$$\frac{3240 * \sin 10^{\circ}}{1480} = \sin R^{\circ}$$

$$\frac{3240 * 0.1736}{1480} = \sin R^{\circ}$$

$$0.3801 = \sin R^{\circ}$$

$$R^{\circ} = 22.34^{\circ}$$



(a)

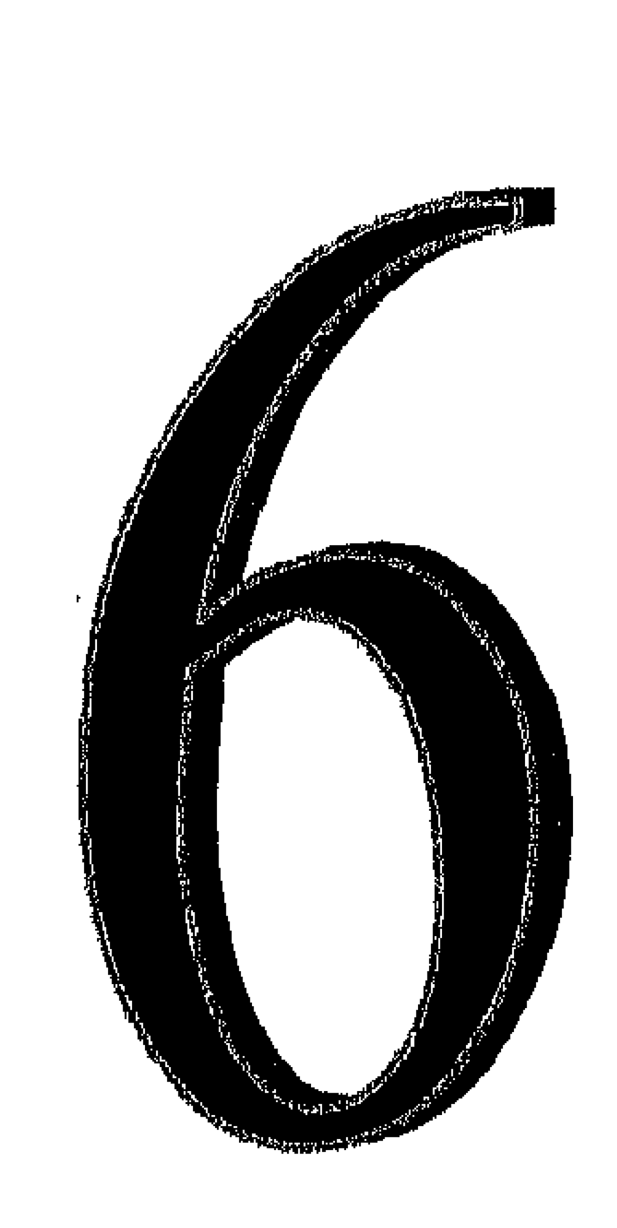
شكل (48): يوضح نوع من انواع المجسات.



الفصل السادس

الفحص بواسطة

الميتالوغرافيا الكمية



الفصل السادس

الفحص بواسطة الميتالوغرافيا الكمية

1.6 المقدمة

لاشك في أن للبنية الدقيقة الدور الكبير في تحديد خواص المادة إن لم تعتبر مرآة لها . فعلى سبيل المثال فان عدد الترسبات أو حجمها أو توزيعها له اثر كبير على مقاومة المادة . كما إن كثافة الانخلاعات والحجم الحبيبي والعيوب النقطية وغير ذلك من العوامل البنيوية تلعب دوراً كبيراً في تحديد الخواص . ولهذا كان حساب هذه العوامل بدقة وتعيين مقاديرها بشكل مضبوط أي بدون انحياز (bias) نحو قيمة أعلى أو اقل من المقدار الحقيقي له أهمية كبيرة لان ذلك ينعكس على خواص المادة ومن ثم على استخدامها . وبناء على ذلك تطور علم الميتلوغرافيا الكمية أو ما يسمى بعلم قياس الأحجام أو المجسمات (Stereology) .

تعرف الميتالوغرافيا الكمية بأنه فن حساب المعالم (parameters) كنسبة الطور الثاني ومعدل الحجم والمسافة البينية وعدد الدقائق للطور المبثوث في مادة غير متجانسة كل ذلك يتم من المشاهدات المجهرية لمقطع مستو من نموذج محضر بصورة ملائمة . فالنتيجة إذن عرضة لتغييرات إحصائية وأخطاء لان هذه المشاهدات لمساحات سطحية محدودة ولنماذج قليلة العدد إضافة إلى هناك أخطاء تجريبية في كل من عمليتي تحضير النموذج والقياسات العملية .

2.6 أسس وقواعد الفحص بالميتالوغرافيا

بما إن المعالم المحددة بالميتالوغرافيا الكمية هي مقادير بعدية مثل الحجوم والمساحات والمسافات التي تتعلق بالطور الموجود فعلاً . فهناك بناءاً على ذلك ، تحديدات ضرورية لتجنب الانحياز سلباً أو إيجاباً وهي :

1. يجب أن يكون مقطع النموذج مستو ومسطح .
2. قد لا تستخدم الشبكة المنتظمة أو الخطوط المنتظمة للحساب في بنية النموذج المنتظمة عندما تكون المسافات بين الخطوط متقاربة في القياس مع التفاصيل البنيوية . ولا يؤدي استخدام الخطوط أو الشبكة المنتظمة في استقراء البنى غير المنتظمة إلى الانحياز .
3. يجب أن يكون مقطع النموذج والمجال المجهري له أو مكان الشبكة أو الخطوط غير منحاز وممثلاً لمادة النموذج . إن الوضع العشوائي للشبكة في الأماكن المحددة هي التي تكون تمثيلاً في العادة .
4. لا يؤثر شكل شبكة النقاط أو صفوف الخطوط والمسافات التي بينها وقوة تكبير الجهاز على الانحياز عند تعيين قيمة الكسر الحجمي إلا إنها تؤثر في دقة القياسات .

ومن الضروري عند تطبيق قواعد الميتالوغرافيا الكمية تعيين ما هي المعالم التي يجب أن تقاس . تتضمن هذه القياسات عادة الكسر الحجمي للأطوار أو المكونات والحجم البلوري والمسافة بين الطبقات والمسافة بين الترسبات ودرجة التكوير وعمق الكربنة وكثافة الانخلاعات وكثافة المسامات وغيرها من المعالم .

يجب مراعاة ما يأتي عند تطبيق هذه الطريقة أو تلك :

1- تحديد ماهية معالم البنية الدقيقة التي لها علاقة بظروف الخدمة المتوقعة أو متطلبات الخواص .
2- إلى أي مدى يمكن إظهار هذه المعالم وقياسها .
3- ما هي أكفأ واضبط طريقة قياس .
4- هل التقنية اليدوية أم الآلية يمكن تطبيقها لتسهيل التحليل .
5- كم عدد النماذج الواجب قياسها وأين أخذت النماذج من بين دفعات الإنتاج وأي اتجاه يجب أن يفحص .
6- كيف يتم تحضير النموذج .
7- ما هي قدرة التكبير المستخدمة .
8- كم عدد المجالات التي يجب أن تقاس لكل نموذج .
9- كيف يجب أن تحلل المعلومات ويعبر عنها .
10 - ما هى الاستنتاجات التى يمكن استخلاصها .

3.6 الكسر الحجمي (Volume Fraction- Vυ)

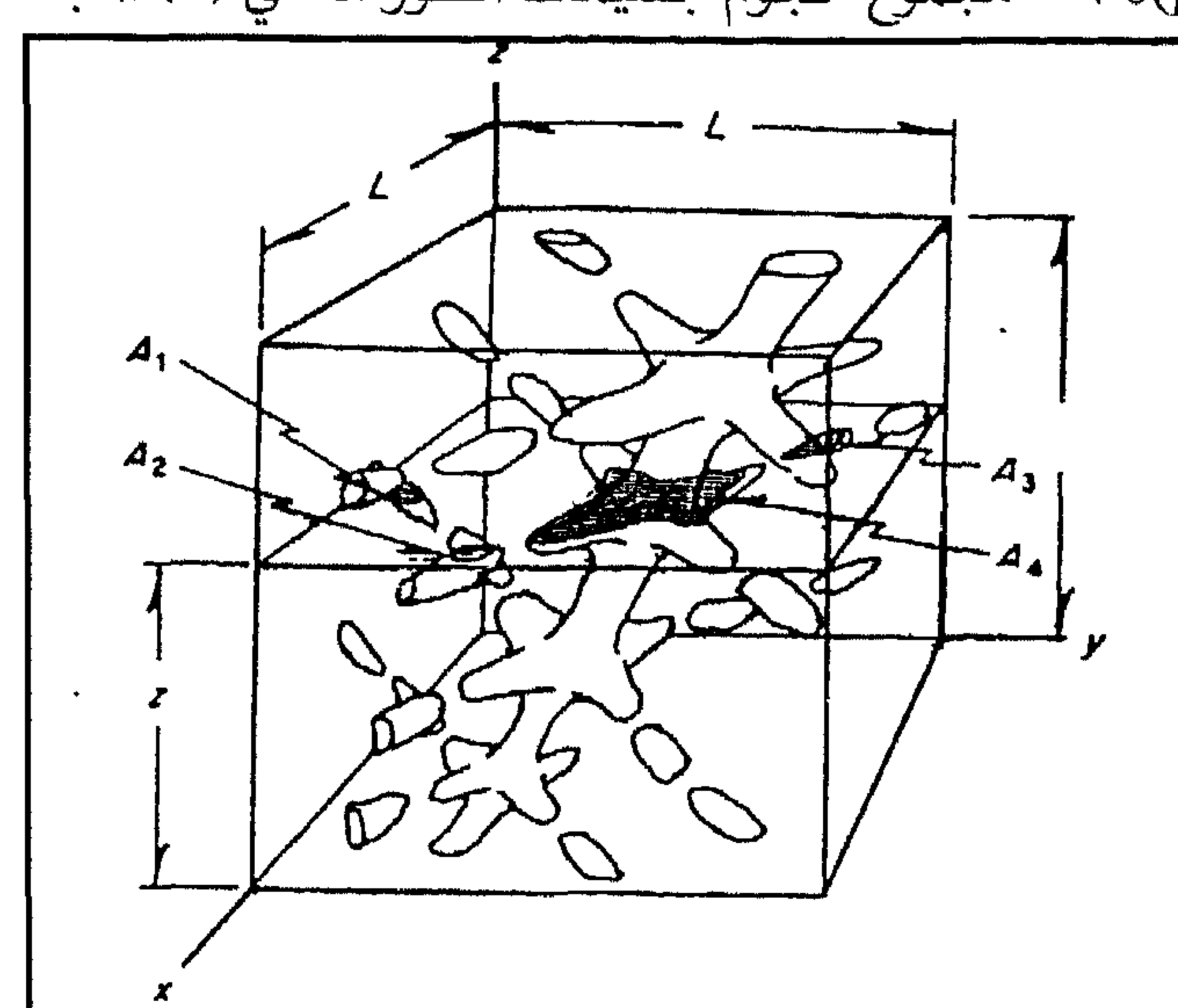
يعرف الكسر الحجمي بأنه نسبة حجم كل الطور الثاني (طور الفا على سبيل المثال ، إلى حجم النموذج نفسه ويعبر عنه عادة إما بكسر عشري أو نسبة مئوية . فلو فرض انه تم اخذ نموذج على شكل مكعب طول ضلعه L ، الشكل (1) فيكون الكسر الحجمي (Vυ) هو :

$$V\upsilon = \frac{V\upsilon(phase)}{L3} = \frac{V\alpha}{V}$$

حيث إن :

V = هو حجم المكعب.

Vυ(phase) = مجموع حجوم جسيمات الطور الثاني (α) المنبثة في النموذج.



شكل (1) : نموذج مكعب الشكل

4.6 الكسر المساحي (Areal Fraction-A_A)

ويعرف بأنه نسبة المساحة الكلية لمقاطع الطور الثاني (الطور α) الموجود ضمن المساحة المرئية من النموذج إلى مساحة المقطع المرئي من النموذج نفسه ، فلو لوحظ الشكل (1) يكون الكسر المساحي:

$$A_A = \frac{A_\alpha}{L^2} = \frac{A\alpha}{A}$$

حيث أن :

A_A: مجموع مساحة مقاطع الطور الفا (a) الموجود في المساحة الكلية لسطح النموذج (L^2) المرئية .

5.6 الكسر الخطي (Linear Fraction-L_L)

هو نسبة مجموع الأطوال المقطوعة من الطور الثاني (α) في مستو ما من النموذج بوساطة خط ذو طول معلوم إلى طول ذلك الخط (L) . كما في الشكل (2) أي أن:

$$L_L = \frac{L_\alpha}{L}$$

$$L_\alpha = L_1 + L_2 + L_3 + ...$$

حيث أن :

L_L: الكسر الخطي

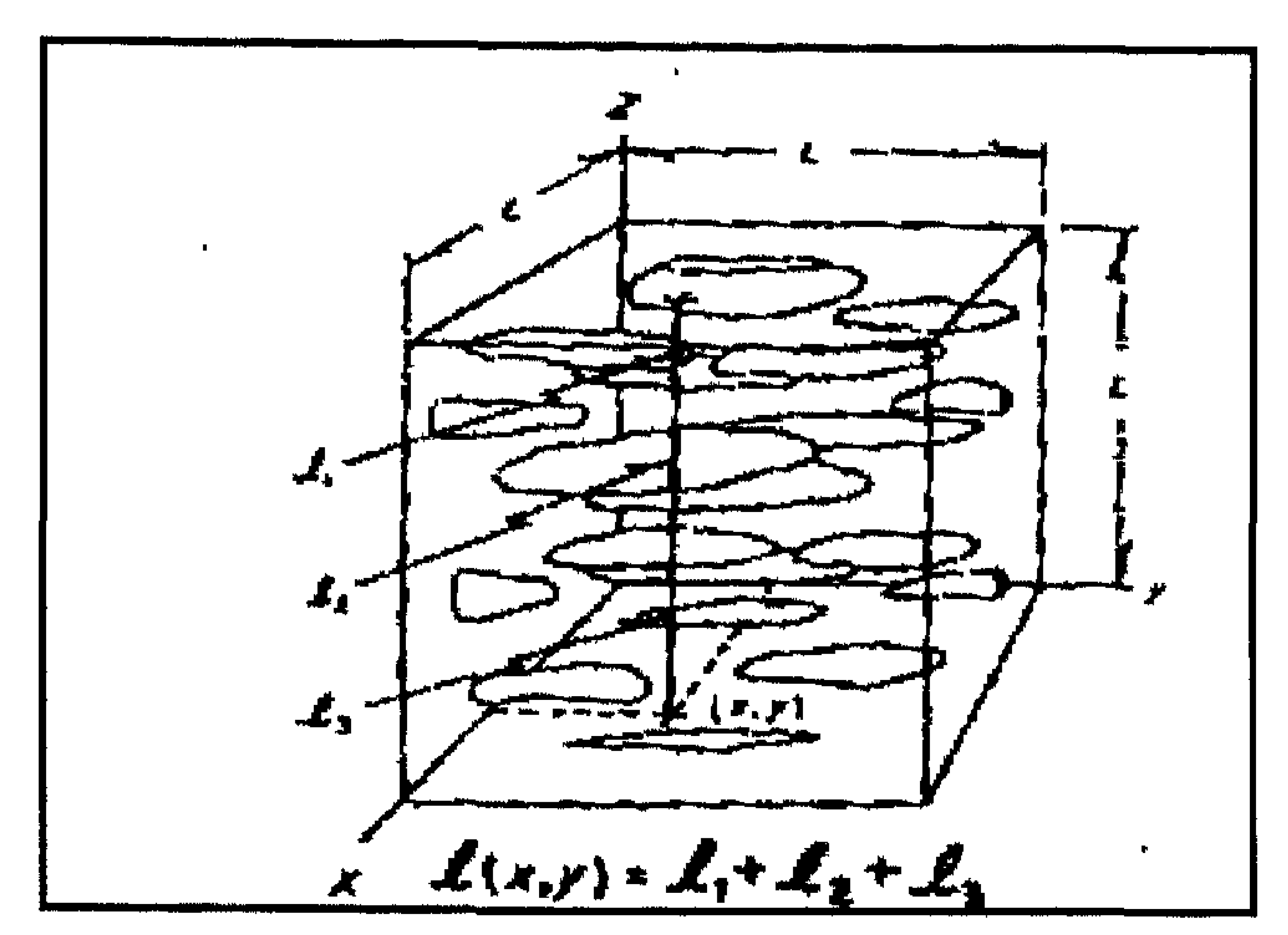
L: طول خط القياس

L_α: مجموع أطوال تقاطعات الطور الثانى α مع الخط (L).

6.6 الكسر النقطي (Point Fraction-P_P)

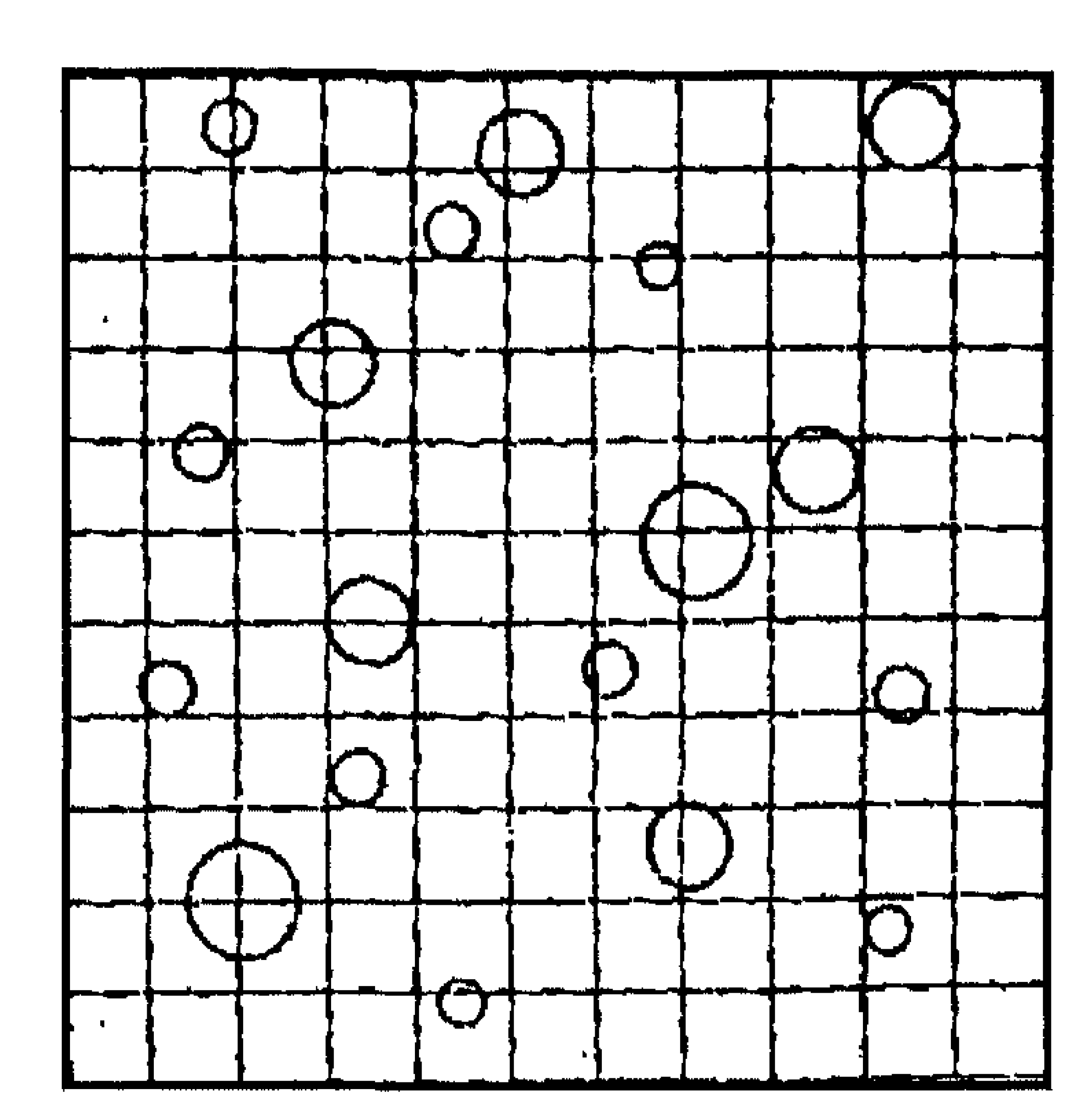
إذا تم وضع نقطة بصورة عشوائية خلال حجم النموذج الذي يتضمن جسيمات من الطور الثاني (α) فالاحتمالية التي بها تقع تلك النقطة على الطور الثاني تمثل الكسر النقطي والذي يساوي الكسر الحجمي للطور الثاني أيضاً . وبنفس الطريقة إذا وضعت نقاط على مقطع مستو من النموذج بصورة عشوائية فالاحتمالية في أن تقع هذه النقاط على الطور الثاني يمثل الكسر المساحي وبنفس الطريقة إذا كانت النقاط موزعة على خط ما فالاحتمالية تساوي الكسر الخطي . هذه الاحتمالية تمثل الكسر النقطي (P_P) أي أن :

$$P_P = V_V = A_A = L_L$$



الشكل (2) : نموذج مكعب مع بنيته بثلاثة أبعاد

مثال //



شكل (3): جزء من سطح عينة فيها الطور الثاني على هيئة دوائر منتظمة

الشكل (3) يمثل رسماً تخطيطياً لجزء من سطح عينة فيها الطور الثاني على هيئة دوائر منتظمة إلا أنها غير متجانسة من حيث المساحة أو التوزيع ، وقد وضع عليه شبكة منتظمة الخطوط والنقاط (تقاطعات الخطوط الطولية والعرضية) ، فإذا علمت إن مساحة الجزء الكلية (AT) تساوي (12100) ومقدار الطول الكلي للخطوط الطولية والعرضية (LT) يساوي(2200) وعدد

النقاط الكلية (نقاط التقاطعPt) (100) . أوجد الكسر الحجمي بوساطة التحليل المساحي والخطي والنقطي .

الحل//

1 - التحليل المساحي .

$$V_{V\alpha} = \frac{\sum A_{\alpha}}{A_T}$$

$$V_{V\alpha} = \frac{894.75}{12100} = 0.073$$

2 - التحليل الخطي .

$$L_{L\alpha} = \frac{\sum L_{\alpha}}{L_T}$$

$$L_{L\alpha} = \frac{1523}{2200} = 0.069$$

3 - التحليل النقطي .

$$P_{P\alpha} = \frac{\sum P_{\alpha}}{P_T}$$

$$P_{P\alpha} = \frac{5 + 2 \times \frac{1}{2}}{100} = 0.06$$

ومن هنا يتبين إن الكسر المساحي لا يساوي الكسر الخطي أو الكسر النقطي إلا أن هذه المقادير تقترب من بعضها إذا أخذت قراءات كثيرة (أي عدة مجالات) ولمقاطع عديدة من النموذج وفي هذه الحالة يقل الخطأ وتكون النتائج اقرب إلى الواقع أيضاً . يمكن تنفيذ حساب الكسر النقطي (Pp) بعدة أساليب (إضافة إلى التحليل المساحي والتحليل الخطي) وهي :

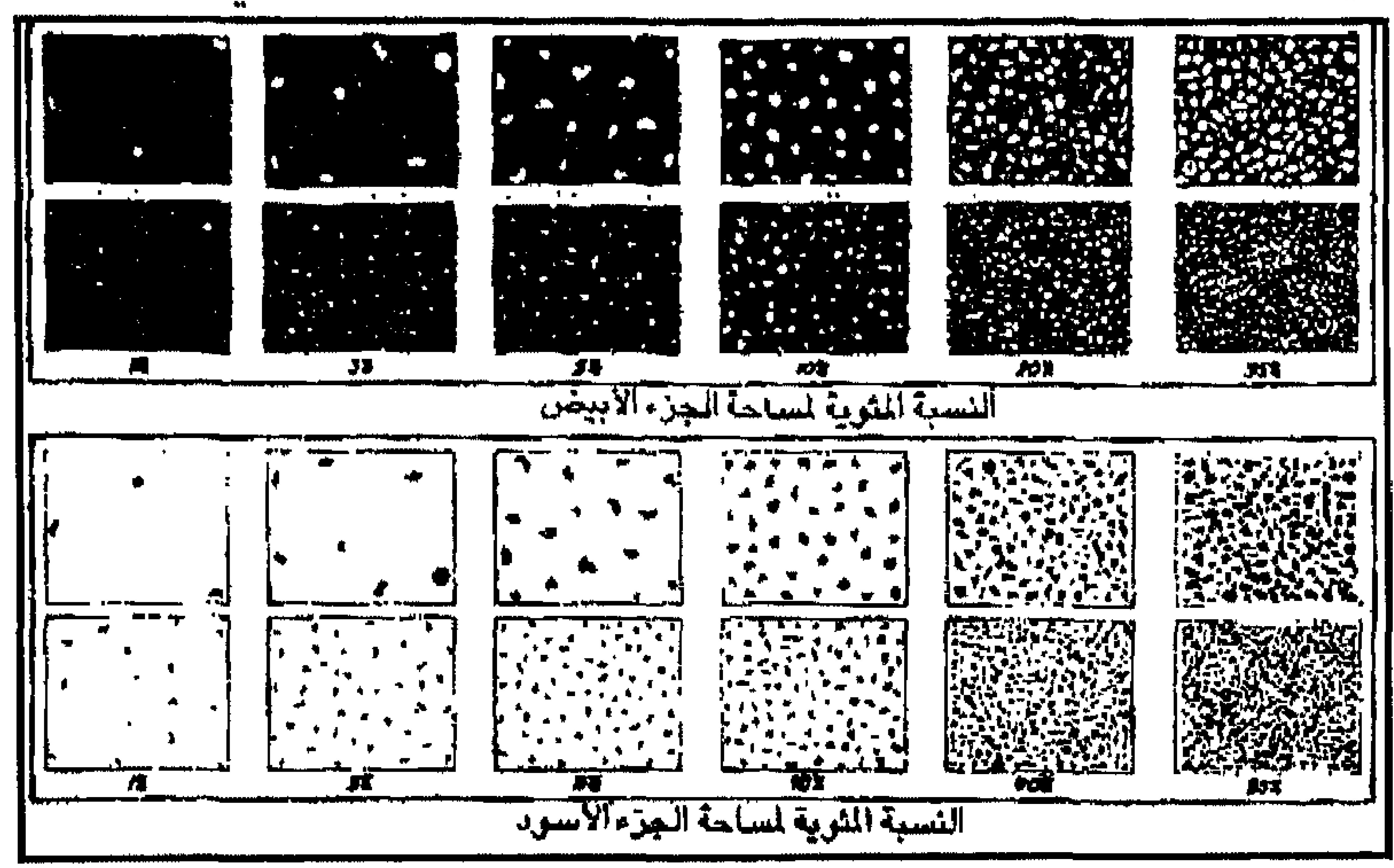
1- استخدام سلسلة نقاط واقعة على خط واحد وموزعة عشوائياً .

2- استخدام سلسلة نقاط واقعة على خط واحد وموزعة بشكل منتظم .

3- استخدام عدد من النقاط واقعة ضمن مساحة (ذات بعدين) وموزعة بصورة عشوائية .

4- استخدام عدد من النقاط واقعة ضمن مساحة (ذات بعدين) وموزعة بصورة منتظمة.

يبين الشكل (4) لوحة قياسية لتخمين الكسر الحجمي بطريقة المقارنة .



الشكل (4) لوح لتخمين الكسر الحجمي وقد طورت من قبل الباحث نيلسون

7.6 قياس الحجم الحُبيبي (البلوري)

هناك العديد من القياسات يمكن استخدامها للتعبير عن الحجم الحبيبي وحسب تعريفه وهي :

- معدل القطر .
- معدل المساحة .
- عدد الحبيبات (البلورات) في وحدة المساحة .
- عدد الحبيبات (البلورات) في وحدة الحجم .
- معدل القطر اعتماداً على معدل حجم الحبيبة .

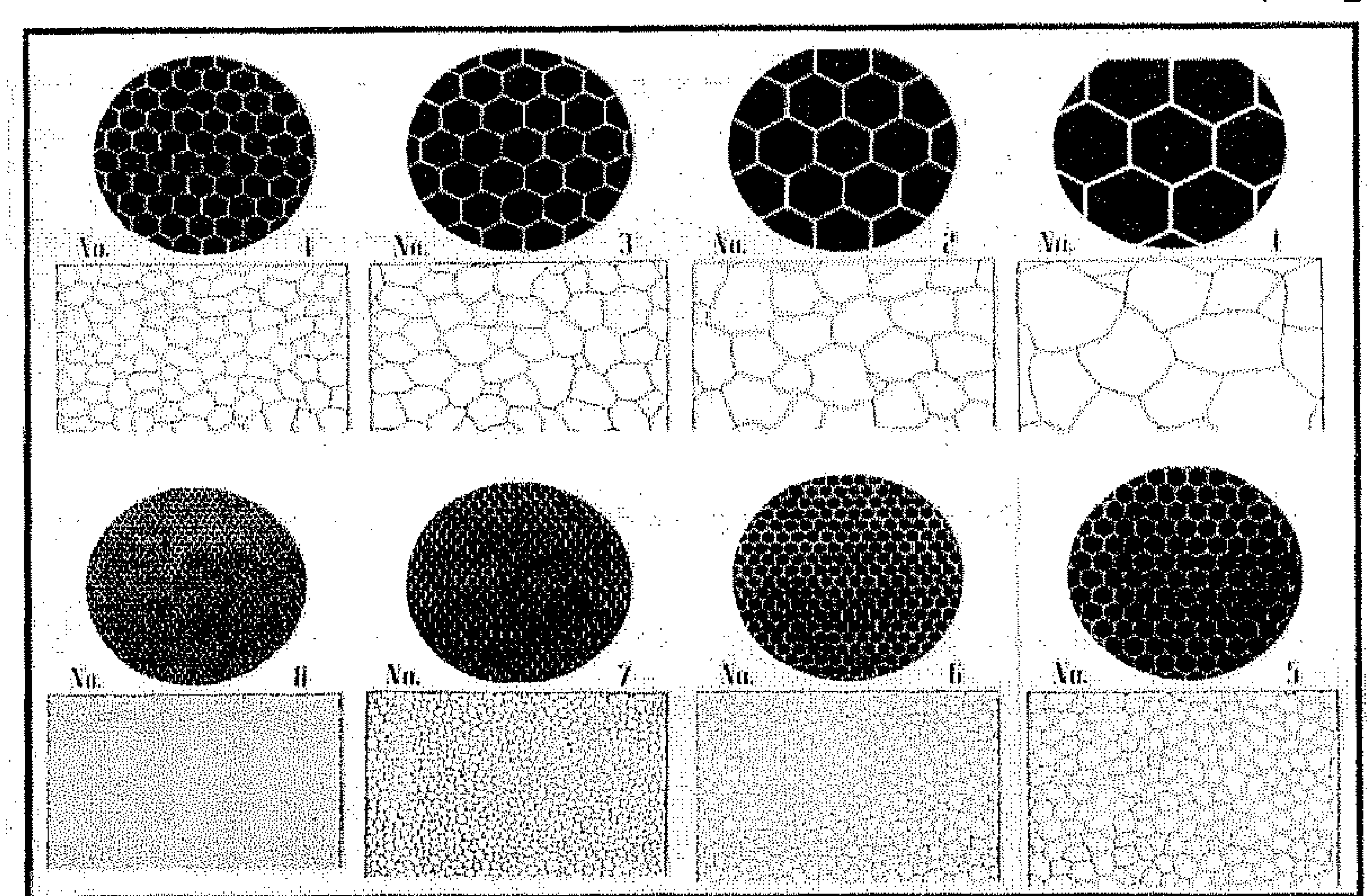
وبناءاً على ذلك يمكن استخدام عدة طرائق لقياس الحجم الحبيبي :

1. طريقة المقارنة مع حجوم قياسية (وهي الطريقة المنسوبة إلى الجمعية الأمريكية للفحص والمواد القياسية (ASTM).
2. الطريقة المساحية (طريقة جفريز Jeffwies) .
3. طريقة التقاطع الخطي (طريقة هاين Heyn) .

وهناك طرائق أخرى اقل شهرة من الطرائق أنفة الذكر إلا انه سيتم التطرق على الطرائق الثلاث المذكورة فقط .

1 - **طريقة** ASTM .

يمكن تحقيق هذه الطريقة أما بالمقارنة فقط مع شبكات قياسية ذات عيون مختلفة القياس لتتلائم مع البنية الدقيقة وتكون هذه الشبكات ذات عيون سداسية منتظمة أو غير منتظمة العيون . حيث يمثل الشكل(5) (h,g,f,e,d,c,b,a) ثمانية نماذج منها وهي الشبكات التي تقع حجوم حبيبات المعادن والسبائك ضمنها عادة .



الشكل(5): ثمانية نماذج من الشبكات التي تقع حجوم حبيبات المعادن والسبائك ضمنها

أما مجموع عدد هذه الشبكات فهو 14 (الجدول1) بموجب المواصفة ASTM الشبكة الأكثر تطابقاً مع بنية النموذج المطلوب قياس حجمه الحبيبي بتغيير هذه الشبكات (المرسومة على أوراق شفافة عادة) حتى يتطابق مقاس فتحاتها (عيونها) مع المقاس آو الحجم الحبيبي للنموذج المفحوص بعدما يتم تحضيره بإتباع الأسلوب القياسي للتحضير ومن ثم يتم استخدام رقم تدرج الحجم الحبيبي من رقم الشبكة لان كل شبكة تمثل حجم حبيبي معين وكالاتي :

$$n = 2^{g-1} \qquad (5)$$

حيث تمثل n معدل عدد الحبيبات (البلورات) بالانج المربع الواحد عند التكبير مئة ضعف .G هو رقم دليل الحجم الحبيبي (grain size index unmber) في شبكة قياس ASTM وهو الرقم المثبت على كل شبكة من الشبكات الثمانية أي انه من الرقم 1 حتى الرقم 8 وعليه إذا كان g=3 ، على سبيل المثال ، فان عدد الحبيبات في الانج المربع (n) سيكون:

$$n = 2^{3-1} = 4 \qquad (6)$$

ويمكن كتابة العلاقة أعلاه بموجب المواصفة ASTM E91 كالآتي :

$$N_A = 15.5 \times 2^{g-1}$$

حيث تمثل N_A عدد الحبيبات في المليمتر المربع الواحد لسطح النموذج و g رقم دليل الحجم الحبيبي في الشبكة القياسية ASTM عند تكبير مقداره مئة ضعف أيضاً . وعند كون N_A هي المعلومة يمكن استخدام العلاقة (معادلة 6) لحساب (g) وكالاتي :

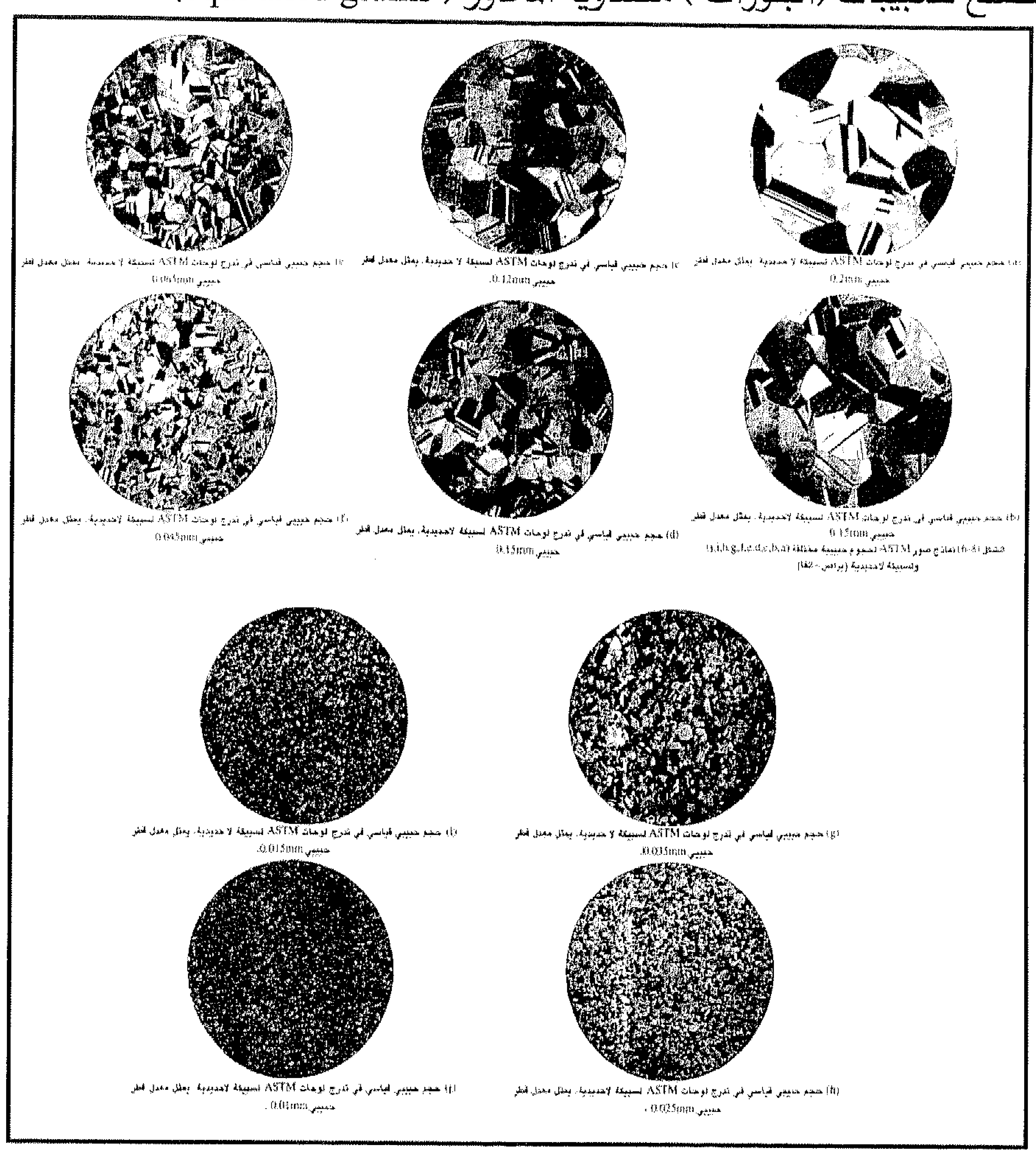
$$g = -2.954 + 3.322 \log N_A$$

جدول (1) :يبين 14 رقم حجم حبيبى ASTM

رقم ASTM	حبيبه/ mm^2	قطر الحبيبة التقريب (µm)
1-	4	500
0	8	354
1	16	250
2	32	177
3	64	125
4	128	88.4
5	256	62.5
6	512	44.2
7	1024	31.2
8	2048	22.1
9	4096	15.6
10	8200	11.0
11	16400	7.81
12	32800	5.52

وعادة ما يكتفي بمعرفة رقم دليل الحجم الحبيبي (g) المطابق لبنية النموذج المحدد بدلاً من حساب n أو N_A . هذا ما كان من أسلوب قياس السبائك الحديدية (nonferrous s alloys) أما بالنسبة لقياس الحجم الحبيبي للسبائك والمعادن اللاحديدية (nonferrous alloys) فيمكن استخدام نفس أسلوب مقارنة البنية المجهرية للنموذج المراد قياس حجمه البلوري (الحبيبي) مع لوحات ASTM قياسية أخرى (غير تلك التي استخدمت في قياس الحجم الحبيبي للسبائك الحديدية) وكما في الشكل (6) . الخاص بلوحات البراص ألفا (a-Brass) وعند تكبير قياسي مقداره 75 ضعفاً (75x) . إن عدد اللوحات عشرة

مدرجة بدلالة معدل أبعاد الحبيبة (average dimensions grain) الحقيقية وتتراوح بين 0,20 mm وحتى 0,01mm وطريقة المقارنة (ASTM) أنفة الذكر تصلح للحبيبات (البلورات) متساوية المحاور (equi axed grains) فقط .



الشكل (6) :لوحات ASTM قياسية

إن طريقة المقارنة أنفة الذكر هي طريقة سريعة النتائج وكثيرة الاستخدام في الصناعة خاصة وفي القياسات الروتينية عامة . إلا أنها تفتقر إلى الدقة ولذلك لا تستخدم في البحوث العلمية أو عندما تراد نتائج دقيقة ومطابقة للواقع . وعندئذ

تستخدم أما طريقة جفريز أو طريقة معدل التقاطع الخطي حيث أن الأخيرة أكثر استخداماً السباب سوف تذكر فيما بعد .

2 - **الطريقة المساحية (طريقة جفريز)** (Planimetric Method (Jeffries

طورت الطريقة المساحية من قبل جفريز ، ثم استخدمت لسنوات عديدة في قياس عدد الحبيبات في وحدة المساحة لمقطع مستو ، حيث يمكن آن تقارن هذه الطريقة مع تدرج عدد الحجم الحبيبي للجمعية الأمريكية (ASTM) . وقد استعيض في السنوات الأخيرة عن هذه الطريقة بطريقة معدل التقاطع الخطي التي سيؤتي ذكرها وذلك لأنها ابسط في الاستخدام وأكثر ملائمة لمختلف البنى المجهرية .

يتم تنفيذ طريقة جفريز ، بشكل عام ، برسم دائرة (أو مستطيل) ذات قطر مقداره 79,8mm (مساحتها 5000mm2) على الصورة المجهرية مباشرة أو على ورقة شفافة كما في الشكل (7) . يتم تغيير قوة تكبير المجهر بحيث تتضمن مساحة الدائرة ما لا يقل عن (50) حبيبة تحسب عدد الحبيبات التي تكون ضمن الدائرة تماماً وليكن (n1) ثم عدد الحبيبات التي تتقاطع مع المحيط وليكن (n2) فيكون مجموع الحبيبات الواقعة فعلاً ضمن الدائرة هو (N) فيكون:

$$F = \frac{M^2}{5000}$$ (معادلة 7)

أما عدد الحبيبات في المليمتر المربع الواحد (NA) فيحسب كالآتي :

$$N = n_1 + \frac{n_2}{2}$$ (معادلة 8)

f هو معامل جفريز الخاص بالتكبير المستخدم (M) حيث يكون :

$$N_A = f(n_1 + \frac{n_2}{2})$$ (معادلة 9)

إن الدائرة المبينة في الشكل لها قطر = 79,8mm أي بمساحة 500mm2 أن تكبير الصورة أعلاه 100X وقد تم حساب عدد الحبيبات ضمن هذه المساحة وقد ظهر أن 44 حبيبة تقع داخل هذه الدائرة تماماً و25 حبيبة تقع مع المحيط .

f (معامل جفريز) للتكبير 100X = 2 = (100)2/500 فيكون عدد الحبيبات بالميلي متر المربع الواحد (NA) :

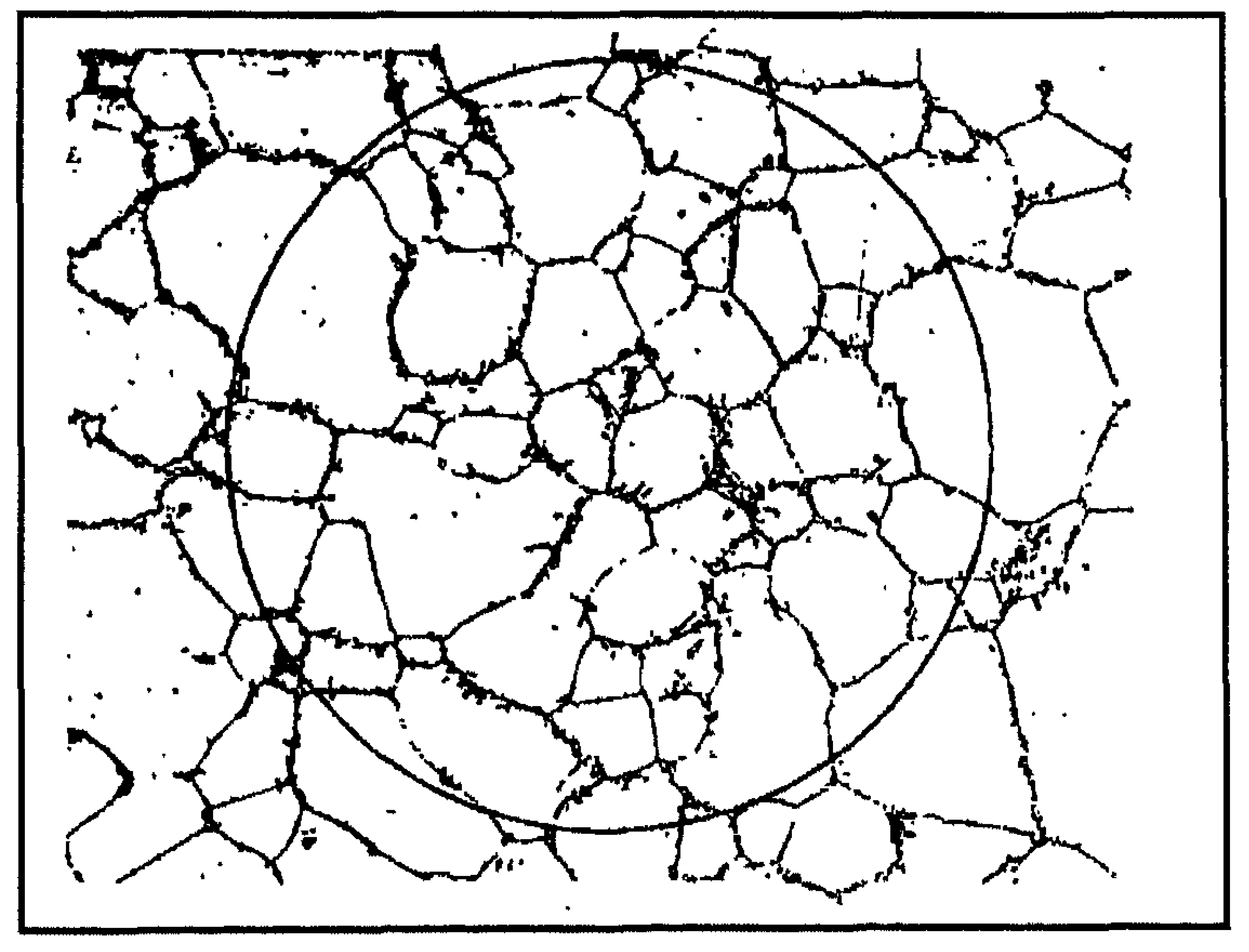
أما معدل مساحة الحبيبة (A) فهو:

$$N_A = 2(44 + \frac{25}{2}) = 113$$ (معادلة 10)

وبذلك يكون معدل قطر الحبيبة (d) هو :

$$\overline{A} = (mm^2) = \frac{1}{N_A}$$

$$\overline{d} = (mm) = \sqrt{(\overline{A})} = \frac{1}{\sqrt{N_A}}$$ (معادلة 11)



شكل (7) : قياس الحجم الحبيبي بالطريقة المساحية

3 -**طريقة معدل التقاطع الخطي** (Mean linear intercept method) .

تستلزم طريقة هاين التأشير على الصورة المجهرية وعلى ورقة شفافة للحصول على العدد المضبوط ، لذا كانت الطريقة بطيئة نسبياً . يمكن الحصول على سرعة عالية في القياسات وبنفس الضبط باستخدام تقنية عدد التقاطعات . وحيث أن عنصر الفحص في هذه الطريقة هو خط بدلاً من مساحة فيمكن الحصول على عدد دقيق بدون الحاجة إلى التأشير على الصورة . وفي الواقع يمكن استخدام شبكة خطوط (أو خط واحد) موضوعة على العدسة العينية وبذلك يمكن تجنب استخدام الصورة وبنفس الدقة في العمل . يمكن تنفيذ طريقة معدل التقاطع الخطي لحساب الحجم الحبيبي بجزء من الوقت اللازم عند استخدام طريقة جفريز . وهذا الوقت أكثر بقليل من الوقت اللازم عند استخدام طريقة المقارنة الأمريكية . تعتبر طريقة التقاطع الخطي الطريقة الأكثر ملائمة في قياس الحبيبات غير المتساوية الأبعاد . كما أن عدد التقاطعات بوحدة الطول (NL) تتناسب بصورة مباشرة مع المساحة السطحية بوحدة الحجم (Sv) للحدود البلورية (الحبيبية) وكالاتي :

$$Sv = 2NL \quad \text{(معادلة 12)}$$

يمكن تنفيذ هذه الطريقة باستخدام خط مستقيم أو منحني ذو طول كلي (LT) معلوم بحيث يتم رسمه على الصورة مباشرة . كما في الشكل (8) أو على ورقة شفافة أو يكون موضوعاً على العدسة العينية ، كما مر ذكره . يتم اختيار التكبير الملائم بحيث يكون عدد الحدود الحبيبية المتقاطعة مع خط القياس (N) لا يقل عن 50 ولا يزيد عن 150 ويمكن حسابها بشكل مضبوط . يعتبر كل حد حبيبي يتقاطع مع خط القياس نقطة واحدة أما إذا تقاطعت نقطة ثلاثية للحدود الحبيبية (نقطة التقاء ثلاث حبيبات) مع الخط فتحتسب واحد ونصف نقطة في حين تعتبر نقطة تماس الحد الحبيبي مع خط القياس نقطة فقط . وهكذا يمكن حساب مجموع التقاطعات الفعلية (N) .

يحسب مقدار التقاطع بوحدة الطول (NL) كالآتي :

$$N_L = \frac{NM}{L_T}$$ (معادلة 13)

حيث يمثل LT الطول الكلي للخط المستقيم المستخدم في القياس M مقدار تكبير الجهاز .

فيكون مقدار الحجم الحبيبي لمعدل التقاطع الخطي هو:

$$\overline{L} = \frac{1}{N_L}$$ (معادلة 14)

ولو تم اخذ نموذج متعدد السطوح (Tetradacahedron) ليمثل الحبيبة فعندئذ تكون العلاقة بين الحجم الحقيقي للحبيبة (d) والحجم الحبيبي لمعدل التقاطع الخطي (L) هي:

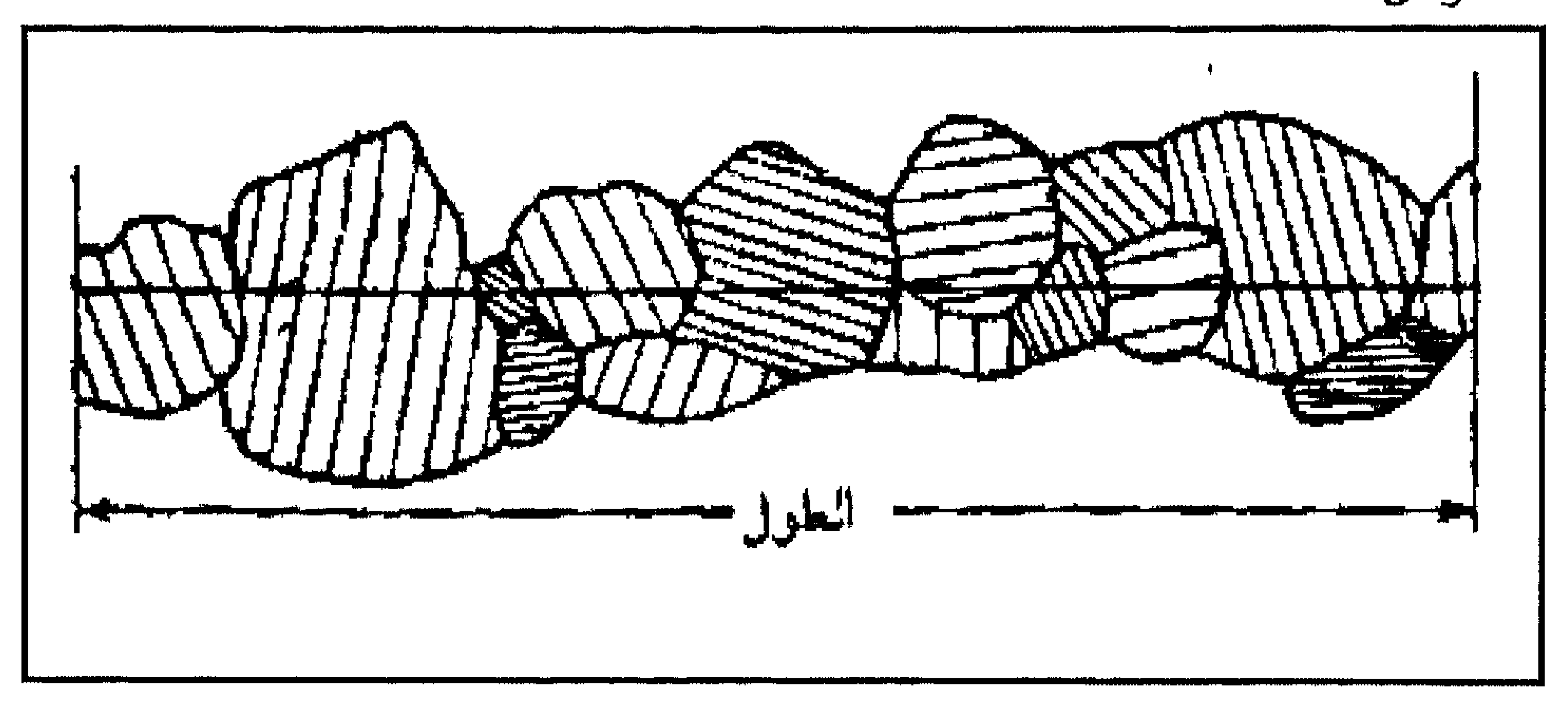
$$d = 1.77\overline{L}$$ (معادلة 15)

كما إن هناك علاقة تربط بين (L) وعدد الحجم الحبيبي بطريقة ASTM (g) وهي :

$$g = (-6.6457 \log L) - 3.298$$ (معادلة 16)

ومن ميزات هذه الطريقة انه يمكن معرفة الاستطالة النسبية في الحبيبات أو مقدار التشكيل الذي اجري على السبيكة ، عند استخدام خط مستقيم في القياس . حيث تؤخذ قياسات باتجاه محاور الحبيبات أولاً ثم تؤخذ قياسات أخرى باتجاه عمودي على الاتجاه الأول ولنفس العدد من الحبيبات . ومن نسبة القراءات الثانية إلى الأولى يمكن التنبؤ بمقدار التشكيل بفرض أن الحبيبات كانت متساوية المحَاور قبل التشكيل . وإذا أريد التقليل من الخطأ الإحصائي فمن المستحسن اخذ ما لا يقل عن 500 حبيبة لتعيين الحجم الحبيبي وفي مناطق

واتجاهات مختلفة من النموذج ولعدة نماذج لاستخراج المعدل الذي يمثل النموذج المفحوص فعلاً.



شكل (8): طريقة معدل التقاطع الخطي لتعيين الحجم الحبيبي

في هذا الشكل :

عدد التقاطعات مع الحدود البلورية 8

عدد نقاط التماس مع الحدود البلورية صفر .

عدد النقاط الثلاثية المار بها الخط 1

إذن مجموع التقاطعات الفعلية = 8+ صفر +1 × 1.5 =9.5

8.6 قياس حجم الدقائق

لقد تم ذكر انه يمكن تعيين الكسر الحجمي (Volume fraction) (Vv) للطور المتشتت (disersed phase) بطرائق بسيطة هي الخطية (lineal) والمساحية (areal) أو التحليل النقطي . ولا يعتمد هذا التعيين على أشكال الدقائق التي قد تكون لها سواء كانت أشكال مثالية أم لا . وهذا غير صحيح بالنسبة لمشكلة تقدير عدد الدقائق بوحدة الحجم وأبعاد الدقائق . ففي كلتا الحالتين يجب معرفة شكل الدقائق . وعلى المستوى العملي يجب أن يتمكن

الشخص من أن يقرر أن شكل الطور المنتشر (المتشتت) كروي أو قرصي أو يأخذ شكل القضبان (rods) أو أي شكل هندسي مثالي . لقد تم اشتقاق العلاقات الخاصة بكثافة الدقائق وأبعادها باستخدام معلمات (Parameters) مقاسة على مقاطع مصقولة (Polished) . وكل علاقة تتعلق بشكل هندسي معين وعلى فرض أن حجمها ذو توزيع منتظم . أما بالنسبة إلى حالات التوزيع غير المنتظم للحجم فيجب أن تؤخذ بصورة منفصلة .

1 - **حجم وتوزيع الدقائق الكروية** .

يمكن تعيين عدد من الماهيات من قياسين هما NL و NA حيث يمكن أخذهما من المقاطع المستوية وحسب الباحث فلمان (Fullman) فإذا كان :

NA = عدد الدقائق بوحدة المساحة.

NL = عدد الدقائق في وحدة طول الخط.

r = معدل نصف قطر الدقائق الكروية .

فتكون العلاقة:

$$N_v = \frac{\pi}{4}\frac{N_A^2}{N_L} \qquad \text{(معادلة 17)}$$

ويكون عدد الدقائق الكروية بوحدة الحجم NV هو:

$$r = \frac{2}{\pi}\frac{N_L}{N_A} \qquad \text{(معادلة 18)}$$

وبالإضافة إلى التحليل الخطي والمساحي والنقطي فان الكسر الحجمي للدقائق الكروية المنتشرة يمكن أن يحسب كالآتي :

$$V_v = \frac{8}{3\pi}\frac{N_L^2}{N_A} \qquad \text{(معادلة 19)}$$

2 - حجم وتوزيع الرقيقة الخفيفة ذات الشكل القرصي .

أعطى فلمان (Fullman) الصيغ الرياضية الآتية التي تنطبق على الدقائق ذات الشكل القرصي المثالي :

$$r=\frac{N_L}{N_A}$$ (معادلة 20)

$$l=\frac{V_v}{2N_L}$$ (معادلة 21)

$$N_A=\frac{2}{\pi}\frac{N_A^2}{N_L}$$ (معادلة 21)

حيث أن r = نصف قطر القرص و t = سمكه على أن يكون r >>t .

3 - حجم وتوزيع الدقائق الطولية التي بشكل قضبان نحيفة .

أعطى فلمان (Fullman) الصيغ الآتية للقضبان النحيفة والطويلة

$$r=\frac{1}{\pi}\frac{N_L}{N_A}$$ (معادلة 23)

$$r=\frac{2}{\pi}\frac{N_L^2}{N_A}$$ (معادلة 24)

حيث r = نصف قطر القضيب و L يمثل طوله وانr >>L .

يلاحظ في هذه الحالة أن طول القضبان لا يمكن أن يحسب أو يقدر من قياسات المقاطع السطحية .

4 - حجم وتوزيع الدقائق الاهليلجية .

هناك نوعان من الأجسام الاهليلجية وهما شبه الكرة المتطاول (prolate el – lipsoid) والذي يتشكل من دوران الجسم الاهليلجي حول قطره الأكبر (a)

وشبه الكرة المفلطح (oblate ellipsoid) والذي يتشكل من دوران الجسم الاهليلجي حول قطره الأصغر (b) . ومن الضروري تعريف المعلمات الخاصة بالجسم الاهليلجي .

(g) هي النسبة المحورية b /a للجسم الاهليلجي الهندسي المتولد

kp (g) و ko (g) هما حدان مجردان واللذان يعتمدان على (g) .

Fp و Fo هما معدلا قيم النسبة بين المحور الأكبر إلى المحور الأصغر للأشكال الاهليلجية المتكونة من المقاطع المستوية العشوائية لكلا نوعي الأجسام الاهليلجية المنتشرة في البنية التي يمكن الحصول عليها من معدل عدد كبير من القياسات التي تجرى على البنية . أن كلا من Fp و Fo.تعتمد على g وهي دالة لها .Zp و Zo يمثلان معدل القيم لمقلوبات المحاور الصغرى للمقاطع الاهليلجية . يمكن أيضاً استخراج هذه القيم من إجراء القياس على عدد كبير من الدقائق الاهليلجية الموجودة في البنية. وباستخدام المعلمات أنفة الذكر فقد تم تعريف عدد الدقائق بوحدة الحجم ومعدل أبعاد المحاور الكبرى والصغرى (major and minor axes) للدقائق الاهليلجية الشكل :

$$N_v = \frac{2N_A Z_p}{\pi k_p(g)} \text{ or } \frac{2N_A \bar{z}_o}{\pi g k_o^2(g)} \quad \text{(معادلة 25)}$$

$$\bar{b} = \frac{\pi}{2\bar{z}_p} \text{ or } \frac{\pi g^2 . k_o(g)}{2\bar{z}_o} \quad \text{(معادلة 26)}$$

$$\bar{a} = \frac{\pi}{2g.\bar{z}_p} \text{ or } \frac{\pi g . k_o(g)}{2\bar{z}_o} \quad \text{(معادلة 27)}$$

9.6 أشكال الدقائق غير المنتظمة

تشكل الدقائق غير المنتظمة ذات الحجوم المختلفة مشكلة حقيقية فقد تم اقتراح بعض الطرائق للتعامل مع مثل هذه الحالات لكنها أما أن تكون صعبة جداً أو غير دقيقة نهائياً وفي الغالب كلا الحالتين معاً .

10.6 معدل المسار الحر بين الدقائق

يعرف معدل المسار الحر (λ) بأنه معدل المسافة بين السطوح الخارجية للدقائق الموجودة أو المنتشرة في البنية وهي تعطي بالمعادلة الآتية:

$$\lambda = \frac{1 - V_V}{N_L}$$ (معادلة 28)

يمكن تطبيق هذه المعادلة لأي توزيع وحجم وشكل للدقائق .

تمارين

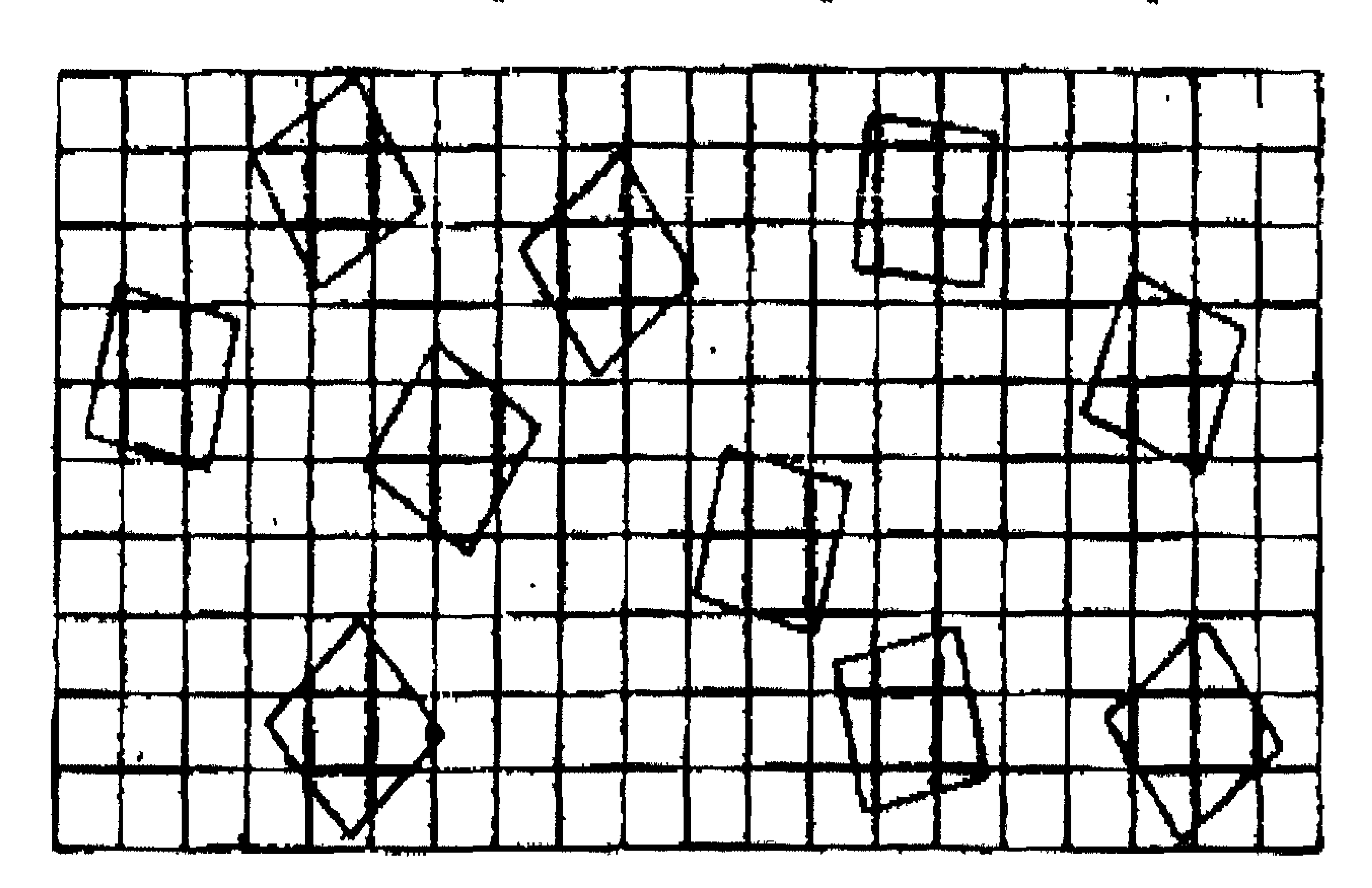
1. اشـــــرح باختصـــــار معنـــــى الميتالوغرافيــــا الكميـــــة (Quantitative Metallogsaphy) وما الغاية المتوخاة منها؟

2. عرف ما يأتي : الكسر الحجمي والكسر المساحي والكسر الخطي والكسر النقطي ثم اذكر أي التقنيات أكثر استخداماً عند قياس الكسر الحجمي ؟

3. عدد طرائق قياس الحجم الحبيبي ، واذكر أيهما أفضل ولماذا ؟

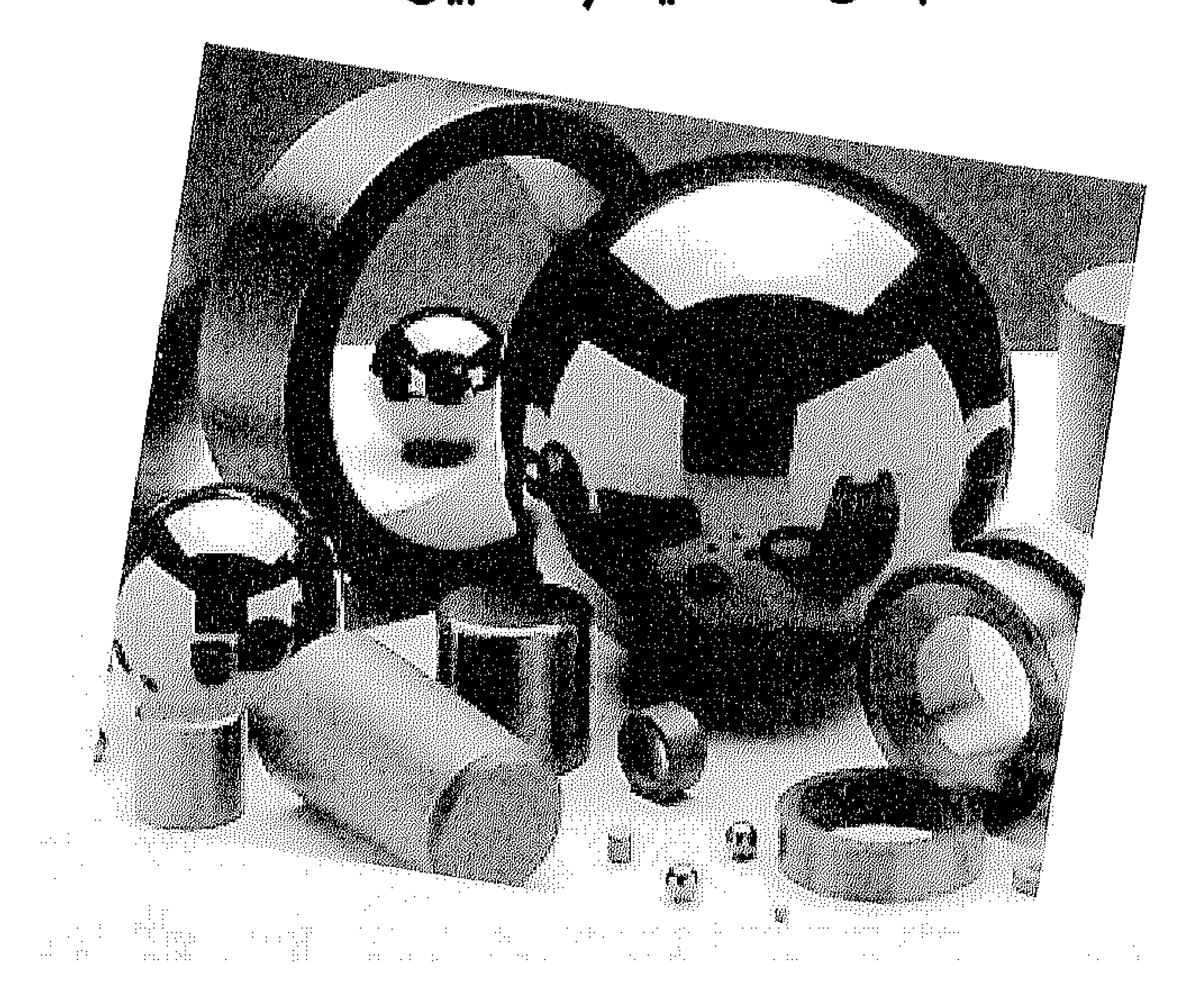
4. احسب الكسر الحجمي للمربعات المنفصلة العشوائية الترتيب

(باعتبارها طور ثاني) والمبين في الشكل المجاور بالتقنيات الثلاث الكسر المساحي والكسر الخطي والكسر النقطي . ماذا تستنتج من ذلك ؟



الفحوصات اللاإتلافية للمواد الهندسية

مبادئ أساسية وتطبيق



المصادر

المصادر

1- Paul E. Mix P.E. E.E "*Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide*" , 2nd edition ,Wiley-Interscience, 2005.

2- Barry Hull , Vernon John "*Non Destructive Testing*" ,Palgrave Macmillan, 1988.

3-D.Van Hemelrijck, A.Anastassopoulos "*Non Destructive Testing* ", 1st edition, Taylor & Francis , 1996.

4- Xavier P. V. Maldague , "*Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing* ", 1st edition, Wiley-Interscience, 2001.

5- Baldev Raj , T. Jay Kumar , M. Thavasimuthu "*Practical Non-Destructive Testing*" , 2nd edition , Asm Intl , 2002.

6- R. Halmshaw "*Non-Destructive Testing* (*Metallurgy & Materials Science*) ", Butterworth-Heinemann ,2nd Edition , 1991.

7 - قحطان خلف محمد الخزرجي ،عبد الجواد محمد الشريف ، عادل محمود حسن "المواد الهندسية وإختباراتها" الطبعة الأولى ،دار دجلة ، 2009 .

8 - د.جعفر طاهر الحيدري "إختبارات المواد الهندسية" ، الطبعة الأولى ،دار المعتز للنشر ، 2005 .

9 - علي إبراهيم الموسوي " عمليات تصنيع المعادن " ، الطبعة الأولى ، مؤسسة الطيف للطباعة والنشر والتوزيع، بغداد ، 2010 .

10- E.P.DeGarmo, J.T. Black, and R.A. kohser, 2008 " *Materials and processes in Manufacturing* " , 10th Edition , john Wiley & Sons.

الفحوصات اللاإتلافية
للمواد الهندسية
مبادئ أساسية وتطبيق




9789957249366

مؤسسة دار الصادق الثقافية
طبع . نشر . توزيع
العراق - بابل - الحلة - هاتف : 009647801233129
E-mail : alssadiq@yahoo.com

دار صفاء للطباعة والنشر والتوزيع
المملكة الأردنية الهاشمية - عمّان - شارع الملك حسين
مجمع الفحيص التجاري - هاتف : 4611169 6 962+
تلفاكس: 4612190 6 962+ ص.ب 922762 عمّان 11192 الأردن
Safa@darsafa.info Safa@darsafa1.net Safa@darsafa.net




دار صفاء للنشر والتوزيع
دار صفاء للنشر